

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**BENEFICIOS AMBIENTALES DEL CONTROL DE PÉRDIDAS  
EN UN SISTEMA CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE  
AGUA POTABLE**

Tesis para optar el Título de Ingeniera Civil, que presenta la bachiller:

**KATHIA NÁTALY CÁCERES HUISACAYNA**

**ASESOR: RAMZY KAHHAT ABEDRABBO Ph.D.**

Lima, Junio del 2016

## RESUMEN

El propósito de este estudio es presentar la evaluación de Análisis de Ciclo de Vida realizada a la Planta de Tratamiento Chen Chen ubicada en la ciudad de Moquegua. Dicha evaluación responde tanto al ámbito de eficiencia operativa como a los impactos ambientales que produce cada m<sup>3</sup> de agua. Además, mediante el apoyo de una herramienta cualitativa, la entrevista, busca conocer la perspectiva de los usuarios sobre la calidad del sistema de agua proveído por la Empresa Prestadora de Servicios Moquegua.

El análisis cuantitativo realizado considera una parte general de la fase de construcción y de manera detallada la fase de operación de la empresa. Dentro de esta última fase se tomarán en cuenta las etapas de dosificación y mezcla rápida, floculación, decantación, filtración y cloración. La metodología utilizada para la evaluación de impactos ambientales en cada etapa es el análisis de ciclo de vida (ACV o LCA). Esta herramienta ayuda a evaluar la contribución de cargas ambientales y a su vez comparar distintos escenarios a través del tiempo. Esto permite comparar la influencia que tiene el utilizar técnicas para reducir el volumen de agua producida frente a años anteriores en los que se utilizaba la reducción de pérdidas en menor medida.

Los resultados muestran el proceso histórico que siguió el consumo de químicos y electricidad, con el fin de ver las mejoras anuales. Los dos principales motivos del aumento en los requerimientos de energía y químicos son, por un lado, el aumento de la población en un rango aproximado de mil personas (INEI 2015) y por otro lado la creciente contaminación del agua procedente de la cuenca hídrica que abastece a la región (GRM 2014). La evaluación de impactos ambientales evidencia que la fase de operación es la que presenta mayores cargas ambientales. A su vez dentro de dicha fase, la etapa de dosificación con los productos policloruro de aluminio (PAC), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y el respectivo transporte de productos representa aproximadamente el 60% de cargas para la mayoría de las categorías de impacto de punto medio.

Se concluye que una reducción de pérdidas afecta significativa y positivamente a la disminución de cargas ambientales. Además se evidencia que la perspectiva de la población podría ser un factor importante al comunicar los logros actuales y futuros de la empresa. Se espera que este aporte ayude a la mejora en la toma de decisiones tanto para la Empresa Prestadora de Servicios Moquegua como para futuras evaluaciones en otras potabilizadoras tradicionales en el Perú.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, creador del universo, por darnos este mundo en préstamo y por permitirnos contribuir desde la ingeniería a mejorar el vínculo entre la madre naturaleza, las estructuras y sistemas que nos rodean, y los seres humanos con los que compartimos este hogar llamado Tierra.

A mi familia, en primer lugar a Raúl Cáceres por inculcarme siempre el amor por el agua, por enseñarme que quien trabaja por el agua trabaja por la vida; en segundo, lugar a Yda Huisacayna por enseñarme el valor de la responsabilidad y dedicación sin las cuales hubiera sido imposible culminar este trabajo; finalmente a mi hermano Paúl Cáceres, por motivarme siempre a ser un ejemplo como estudiante.

A mi asesor Ph.D Ramzy Kahhat Abedrabbo, por enseñarme la vinculación entre la Ingeniería Civil y el Medio Ambiente. Agradezco su incansable labor en sugerir ideas constantemente, sus continuas correcciones y compartir sus experiencias de investigación. En el desarrollo de esta tesis aprendí de él académicamente y también acerca del valor de ser un profesional con ética y valores firmes.

Al profesor Ph.D Ian Vázquez Rowe, por el tiempo dedicado en enseñarme más sobre el Análisis de Ciclo de Vida y compartir sus experiencias sobre el Análisis de Ciclo de Vida en Plantas de Tratamiento de Agua Residual, y por las contribuciones continuas en la investigación con la sugerencia de artículos y compartir documentación como sus investigaciones en matriz energética para el desarrollo de esta tesis.

Un agradecimiento al investigador Yago Lorenzo Toja, por brindarme una guía en los químicos a utilizarse para el inventario de ciclo de vida y por compartir sus experiencias sobre impactos ambientales usuales que suelen causar dichos químicos.

Un agradecimiento especial al Vicerrectorado de Investigación, el Programa de Apoyo al Desarrollo de la Tesis de Licenciatura ha significado para mí una muestra del esfuerzo de la universidad por fomentar la investigación entre sus estudiantes.

Finalmente, quiero agradecer a la Empresa Prestadora de Servicios Moquegua y a la Superintendencia Nacional de Saneamiento (SUNASS) por colaborar con la información de la PTAP Chen Chen, sin su apoyo hubiera sido imposible el desarrollo de esta tesis.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1	OBJETIVOS .....	5
1.2	ALCANCES .....	5
1.3	HIPÓTESIS .....	6
2.	ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) .....	9
2.2	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA ORIENTADOS AL SECTOR SANEAMIENTO .....	10
3.	ESTUDIO DE CASO.....	14
3.1	PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	16
4.	METODOLOGÍA .....	23
4.1	GENERALIDADES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	24
4.1.1	PROCEDIMIENTOS GENERALES DE UN ACV .....	26
4.2	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	27
4.2.1	ESTABLECIMIENTO DE UNIDAD FUNCIONAL .....	28
4.2.2	DETERMINACIÓN DE ALCANCES Y FRONTERAS .....	28
4.3	INVENTARIO DE CICLO DE VIDA .....	29
4.3.1	FUENTES DE DATOS DEL INVENTARIO .....	30
4.3.2	CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA.....	32
4.3.2.1	POR ETAPAS.....	34
4.3.2.1.1	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	34
4.3.2.1.2	ETAPA DE OPERACIÓN.....	35
4.3.2.2	POR INSUMOS ESPECÍFICOS .....	39
4.4	EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA .....	42
4.4.1	SELECCIÓN DE CATEGORÍAS DE IMPACTO .....	43
4.5	UNA APROXIMACIÓN CUALITATIVA, LA ENTREVISTA .....	49
5.	RESULTADOS.....	51
5.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS A COMPARAR .....	51
5.2	EVALUACIÓN DE COMPONENTES .....	55
5.3	EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA.....	59
5.4	HISTORIAS ORALES DE LA CALIDAD DE AGUA .....	66
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	72
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
	REFERENCIAS.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo Urbano del Agua. Muestra el recorrido del agua desde su estado natural, para luego ser procesada, consumida, vertida en el alcantarillado y finalmente el agua es tratada para devolverla al ecosistema.....	8
Figura 3.1 Ubicación de Planta de Tratamiento Chen Chen respecto al área beneficiada por el agua tratada. Fuente: Google Earth .....	14
Figura 3.2 Esquema integral del sistema de agua potable Moquegua.....	17
Figura 3.3 Zona de mezcla rápida y dosificación .....	19
Figura 3.4 Zona de floculadores .....	20
Figura 3.5 Zona de decantación .....	20
Figura 3.6 Zona de filtros .....	21
Figura 3.7 Sala de cloración .....	22
Figura 4.1 Fases para un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	25
Figura 4.2 Fronteras del sistema a evaluar. Diagrama basado en Figura 2 de Sharaai et al. (2011).....	29
Figura 4.3 Esquema de Planta de Tratamiento Moquegua .....	33
Figura 4.4 Procesos involucrados en la planta de tratamiento Chen Chen – Moquegua.....	34
Figura 4.5 Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Medición y Mezcla Rápida.....	35
Figura 4.6 Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Dosificación y Mezcla Rápida .....	36
Figura 4.7 Componentes de infraestructura en el proceso de Floculación .....	36
Figura 4.8 Componentes de infraestructura en el proceso de Decantación .....	37
Figura 4.9 Componentes de infraestructura en el proceso de Filtración .....	38
Figura 4.10 Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Cloración .....	38
Figura 5.1 Volúmenes de producción de agua (m <sup>3</sup> ) entre los años 1982 y 2012.....	52
Figura 5.2 Gasto histórico de insumos químicos (2003 -2012) .....	55
Figura 5.3 Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> ) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2010. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno.....	56
Figura 5.4 Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> ) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2011. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno.....	57

Figura 5.5 Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> ) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2012. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno .....	57
Figura 5.6 Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> ) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2013. Datos de noviembre y diciembre no disponibles. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno .....	57
Figura 5.7 Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> ) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2014. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno .....	58
Figura 5.8 Consumo histórico de electricidad desde el año 2010 hasta el año 2014. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno .....	58
Figura 5.9 Caracterización porcentual de la potabilizadora para un periodo de cuatro años en base a 18 categorías de impacto.....	60
Figura 5.10 Comparación de impactos entre procesos de infraestructura y de operación.....	62
Figura 5.11 Resultados de caracterización porcentual para el año 2014, por el método Midpoint (H) respecto a 18 categorías de impacto. ....	63
Figura 5.12 Caracterización de la etapa de dosificación por medio de ReCiPe Midpoint H. Valores para el año 2014. ....	64
Figura 5.13 Evolución de la producción de agua para meses entre 2010 al 2014 ..	65

## 1. INTRODUCCIÓN

Todo proceso está compuesto por elementos de entrada y salida, que forman parte de los procesos de manufactura de productos. A pesar que todos los procesos y los materiales están vinculados a emisiones ambientales negativas es posible realizar mejoras con el fin de disminuir dichas cargas ambientales.

La producción de agua potable es un proceso que debido al uso continuo de químicos y electricidad también presenta un efecto negativo en el ambiente, es por esto que las oportunidades de mejora son diversas de acuerdo a la etapa que se evalúe (ISO 2006a).

El problema no son las opciones que existen para la optimización de los sistemas de tratamiento de agua potable sino la falta de conocimiento, por parte de los implicados en la administración, acerca de las metodologías que ayudan a encontrar las debilidades en el sistema. A pesar que esas metodologías de evaluación aplicadas al sector saneamiento se utilizan desde 1990, más de la mitad de casos de estudio se han realizado en Europa, y otro gran porcentaje en Norte América, Australia, Sudáfrica, China y el Sudeste de Asia (Loubet et al. 2014), mientras tanto, nuestro país y la región de Sur América en general, tienen un déficit de investigación en el rubro de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado al sector saneamiento.

Un elemento necesario para conocer las deficiencias en la institución es la evaluación integral de todos los procesos que acontecen y habitualmente este análisis se realiza desde una perspectiva económica; sin embargo, las demandas mundiales que buscan promover la protección de los recursos naturales y la mitigación de los impactos ambientales exigen de cada organización una respuesta que implique la evaluación ambiental en sus procesos.

Una herramienta para el análisis ambiental de un bien o servicio es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuyo propósito es realizar mejoras a los procesos por los cuales las materias primas serán transformadas en bienes, y en el caso de las empresas de tratamiento de agua potable este bien, el agua, será consumido por el público. El ACV se encarga de analizar los impactos ambientales de uno o varios sistemas. Esta herramienta ayudará a un análisis del sistema convencional de agua antes y después de aplicar mejoras en el control de pérdidas para el sistema de distribución.

Para disminuir pérdidas en los procesos de distribución existe una amplia gama de nuevas técnicas y tecnologías; sin embargo, debido al crecimiento exponencial de la población es difícil mantener al mismo tiempo estándares de calidad y suministro diario a toda la población. Cada institución responsable del control y administración de una empresa de agua debe ser consciente de la necesidad de realizar mejoras continuas con el fin de satisfacer una necesidad básica: el agua. Según los Indicadores 2013 el porcentaje de agua no facturada que provee la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) Moquegua es aproximadamente 45%, este porcentaje incluye las pérdidas por la baja eficiencia en los sistemas hidráulico (SUNASS 2014a) y la falta de modernización en los sistemas de distribución.

Es incuestionable que el agua es una pérdida invaluable tanto para la sociedad como para el ambiente y requiere de una mayor atención para la prevención de pérdidas y por ende su adecuada valorización. De acuerdo a las evaluaciones nacionales las pérdidas deben ser valoradas cuantitativamente; sin embargo, la mayor parte de Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento en el país no realizan esfuerzos suficientes para mejorar sus procedimientos para calcular los impactos reales de la pérdida de agua.

En los casos en los que sí se realizan mejoras en los sistemas, las empresas siguen el plan maestro supervisado por la Superintendencia Nacional de Saneamiento (SUNASS) puesto que este esfuerzo permitirá elevar el costo de agua por m<sup>3</sup> y por ende la utilidad de la organización. Esta es una prueba de que se dejan de lado los impactos ambientales frente a las pérdidas financieras. Es necesario también dar a conocer que cuando las empresas realizan un mejor control de pérdidas en el sistema de producción y distribución de agua no solo se observa una disminución en el gasto energético sino también en el gasto por insumos químicos por usuario, y estas reducciones implican tanto un beneficio económico como ambiental.

## 1.1 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Identificar y cuantificar los impactos ambientales positivos y negativos del ahorro de agua para un sistema de tratamiento y distribución de agua, aplicando la metodología Análisis de Ciclo de Vida. Dicho análisis se basará en la comparación entre el sistema tradicional frente al mismo sistema pero incorporando mejoras para la reducción de pérdidas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un inventario de materiales, maquinaria y consumo de energía en la producción, transporte, instalación y distribución para el sistema de tratamiento.
- Realizar el análisis de ciclo de vida para obtener resultados cuantificables, basados en indicadores ambientales, para cada etapa del sistema.
- Realizar un análisis cualitativo que sirva como herramienta auxiliar para conocer la perspectiva de la población sobre el recurso hídrico, de manera que sirva como herramienta adicional para la toma de decisiones.

## 1.2 ALCANCES

Los alcances del tema de investigación serán limitados al análisis cuantitativo de los impactos ambientales causados por los materiales para las fases de construcción y operación realizadas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Moquegua.

El análisis de “la cuna a la puerta” se realizará considerando dos fases las cuales son: construcción y operación. En la fase construcción, se considerará como entradas tanto el acero como el concreto. Por otro lado, en la fase operación, se considerará los insumos químicos, la energía, y el transporte. En ninguna de las dos fases se considerará salidas del sistema, tales como lodos, químicos, y otros materiales que sean productos residuales de la producción de agua, debido a la falta de documentación de calidad.

Los resultados de impactos se darán en base a ciertos indicadores ambientales como son: potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de calentamiento global, potencial de agotamiento de ozono, potencial de formación de smog fotoquímico, entre otros considerados en la Metodología ReCiPe MidPoint (H) (Pré Consultants 2014).

### 1.3 HIPÓTESIS

Existen impactos ambientales positivos en el ahorro de un metro cúbico de agua. Al realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la Planta de Tratamiento de Agua Potable en la ciudad de Moquegua, se busca comprobar que al implementar mejoras mediante tecnologías y métodos para la reducción de pérdidas, se disminuyen las consecuencias ambientales negativas.

Con la ayuda de este precedente, se podrán realizar investigaciones similares para empresas tradicionales en otros puntos de nuestro país. Debido a que la Empresa Prestadora de Servicios Moquegua ha sido reconocida por varios años como una de las mejores respecto a la calidad en el tratamiento de agua y los servicios, es tomada como un buen referente para realizar este tipo de estudios.

Por otro lado, se realizará el análisis cualitativo, que será usado como un complemento al análisis ACV, para respaldar la teoría con las perspectivas de los usuarios. La opinión de los usuarios del agua potable ayudará a determinar si los impactos positivos que genera la empresa respecto al ahorro de agua generarán una respuesta positiva que se corresponda con la opinión en temas como la calidad del servicio que brinda la empresa.

Una vez asumida una conciencia ambiental que se responsabiliza del cuidado del agua, la empresa podrá tener un argumento adicional para apoyar su desarrollo ambiental, la reputación de la empresa aumentará, los empleados se sentirán más a gusto de trabajar en una empresa orientada a la sostenibilidad, y el tipo de servicio que se brinde a los ciudadanos será de mejor calidad. De esta manera, la empresa creará un valor agregado para su consumidor final, la población de Moquegua.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Todos los materiales, tecnologías, actividades, etc., conocidos hasta la actualidad requieren de agua en alguna parte de sus procesos. Además del aumento progresivo de la población las necesidades de cada ser humano también se han multiplicado velozmente, cada elemento de estos nuevos productos o tecnologías necesarias ha seguido un elaborado proceso que contiene numerosos elementos químicos que muchas veces son difíciles de asimilar por nuestro planeta.

Todos los químicos utilizados en los procesos de elaboración, producción o distribución terminan en alguno de los elementos principales de nuestra naturaleza, es decir en el aire, suelo o agua. Los productos químicos que llegan al agua dificultan su tratamiento rápido y eficaz y a este factor se suma la escasez de agua por el excesivo uso y la falta de tratamiento de aguas residuales. Esta situación puede poner en riesgo no solo a los habitantes actuales sino a las futuras generaciones.

La comisión Brundtland realizó un reporte sobre el desarrollo sostenible, señalado como elemento principal para el desarrollo global, donde se le definió como: “Desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender a sus necesidades” (UN, 1987). Esta noción de sostenibilidad desde la perspectiva ambiental puede ser entendida mediante el análisis de ciclo de vida, cuyo concepto será detallado más adelante. El uso de este concepto nos ayuda a entender la interconexión entre temas como disminución de cargas ambientales, aumento en la eficiencia de energía y reducción de la cantidad de materia prima utilizada con respecto a beneficios económicos y sociales.

El agua representa el 70% del planeta, de este porcentaje 97.5% es agua salada y solo el 0.26% está disponible para formas de vida terrestre (Donkers citado en IWA 2002). Este porcentaje es bastante pequeño, aunque gracias a las nuevas tecnologías es posible la desalinización del agua y otros tratamientos para reutilizar el agua; sin embargo, dichos avances aunque minimizan el impacto del problema pueden ser mejor aprovechados si se afronta el problema desde el inicio, es decir desde su ahorro y aprovechamiento en el tratamiento de agua potable.

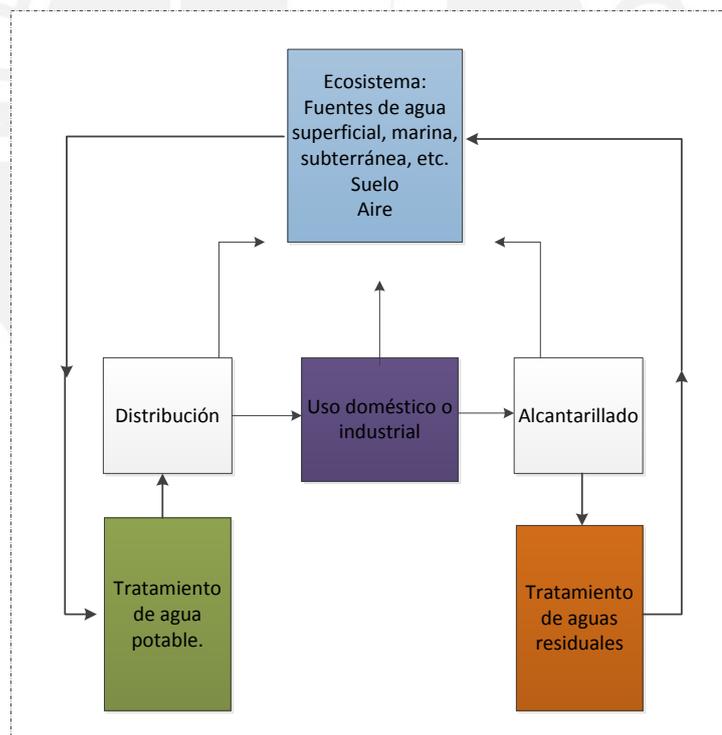
Para conocer a fondo el problema del agua es necesario entender que el agua forma parte de un ciclo de vida y comprender los procesos de evaporación,

transpiración, precipitación e infiltración. Sin embargo, la cantidad de agua y el tiempo que se mantiene en cada proceso es variable.

En el caso del Perú, la región costa depende de la región sierra para ser provista de agua por medio de presas y ríos, a su vez la región sierra presenta una precipitación variable acentuada por los efectos de origen climático como Oscilación Sur el Niño (FCCyT 2012), por lo que en la potabilización se enfrentan problemas para mantener un volumen de agua tratada constante a lo largo del año.

El ciclo urbano del agua, se refiere al recorrido que sigue el agua debido a la intervención humana (Figura 2.1). Existen estudios desarrollados sobre el ciclo de agua urbano (Alvarez-Gaitan et al. 2013) que ayudan a tener un panorama general de las deficiencias que tienen los sistemas construidos por el hombre.

Una investigación específica de cada parte que compone este ciclo de agua urbano, ayuda a encontrar debilidades a un nivel de detalle mayor. Es por esto, que un estudio de la producción de agua potable es de suma importancia.



**Figura 2.1** Ciclo Urbano del Agua. Muestra el recorrido del agua desde su estado natural, para luego ser procesada, consumida, vertida en el alcantarillado y finalmente el agua es tratada para devolverla al ecosistema.

Para que la potabilizadora de la región Moquegua sobreviva en el tiempo es necesario un enfoque ambiental, por el bien de la comunidad, los ecosistemas, y la empresa. El manejo industrial del agua contribuye a sus objetivos económicos y debe responder a las actuales normativas como por ejemplo la Ley N°28611, Ley General del Ambiente, que señala que “toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo está sujeta al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental” (DS N°016-2012-VIVIENDA).

Por otro lado, la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental N°28245, señala que todos los organismos públicos que ejercen competencias y funciones sobre el ambiente y los recursos naturales deben estar sujetos a las Política Nacional Ambiental, el Plan y la Agenda Nacional de Acción Ambiental. Este documento implica a las potabilizadoras tanto por su participación como responsables en las emisiones al ambiente como administradoras del recurso agua.

Es por estas razones por lo que una metodología como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) representa una fortaleza para la evaluación de impactos ambientales en una empresa de tratamiento de agua potable.

## **2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)**

El ACV es una herramienta metodológica que permite un análisis cuantitativo del ciclo de vida de productos y procesos dentro de un sistema (ISO 2006a, 2006b). En la historia del ACV, se reporta que su uso inicial fue comparar productos; por ejemplo, el primer caso en el que se aplicó la metodología Coca-Cola buscaba ver los beneficios que tenía producir botellas de plástico frente a sus clásicos envases de vidrio (Duda, 1997).

Posteriormente en el año 1990 SETAC (Klöpffer, 2005) respaldó un workshop internacional en donde se acuñó el término Life Cycle Assessment (LCA) o en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV). En dicho simposio se plantearon los precedentes del método tal y como hoy lo conocemos; por otro lado, gracias a ello se crearon grupos que desarrollaron más la metodología tanto en Europa como en Norte América.

El grupo asesor de ACV, establecido por SETAC, pasó a sentar las bases del Comité Técnico 207, grupo perteneciente a la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), posterior a ello se comenzó a sentar las bases de toda la familia ISO 14040 (SETAC GLOBE 2011). Los estándares relevantes para el desarrollo de un ACV son el ISO 14040 y el ISO 14044.

Los ACV además de ser orientados a bienes como el análisis de pañales realizado por Gayle (1990) o comparaciones entre gasolina y diésel (Furuholt, 1995), también pasaron a referirse a actividades, procesos, políticas públicas y nuevas normativas. Se inicia por ejemplo el uso de ACV para la mejora de políticas ambientales (Welford et. al, 1993), opciones para el manejo de pérdidas (Powell et al. 1995), análisis de ciclo de vida para procesos químicos (Aelion et al. 2006), etc.

## **2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA ORIENTADOS AL SECTOR SANEAMIENTO**

Un sistema de tratamiento y distribución de agua potable tiene en todos sus elementos un potencial generador de impactos ambientales negativos y requieren de un manejo más eficiente para poder desarrollarse sosteniblemente. Por este motivo como menciona Afgan et al. (2007) “Los nuevos campos de la sostenibilidad se deben desarrollar interdisciplinariamente ya que tienen impactos en la economía, la sociedad y el uso de los recursos ambientales”.

Enfrentarse a los problemas desde las diferentes áreas nos lleva a evaluar problemas como el que enfrenta un sistema de agua urbana que busca la sostenibilidad y para ello debe primero reconocer todos sus aspectos vulnerables. Sarah Bell (2013) sostiene que el agua es altamente sensible al cambio climático debido a la variabilidad que presentan las lluvias, se evidencia en que estas pueden ser extremas o erráticas según la estación o el lugar, y ocasionan que los sistemas sean más difíciles de manejar y regular.

Además, el sistema es sensible al crecimiento poblacional debido a que un incremento en la demanda requiere que los sistemas de suministro de agua sean desarrollados para maximizar el uso de agua disponible en la localidad (Lyons et al., 2009). La falta de urbanización planificada, que genera desorden en las redes y que ocasiona constantes variaciones en las presiones y en la velocidad del agua, solo empeora esta situación de vulnerabilidad.

Por último algunos autores como Godskesen et al. (2010) mencionan la influencia del evidente crecimiento en la contaminación del río y su influencia en el tratamiento del agua. Dicha contaminación influirá directamente en el contenido de químicos necesarios para tratar el agua en los procesos de la etapa operativa lo que a su vez incrementará los impactos negativos en el ambiente y elevará los costos de producción.

Todos estos factores antes mencionados ponen en riesgo a los sistemas de agua, por lo que se vuelve necesario recordar que “los diseños en los sistemas de agua deben estar orientados a promover la integración del drenaje, hábitat, ecosistemas, suministro de agua y saneamiento de las ciudades” (Bell, 2013). Sin la integración correcta entre estos procesos dentro de los sistemas de agua solo se incrementa las posibilidades de deterioro en el medio ambiente.

El potencial de impacto al calentamiento global produce un costo externo pagado por el público en general; por lo tanto, es ignorado en los análisis de escenarios de producción y distribución de agua alternativos (Du et al., 2013). Esta omisión representa un peligro sobre todo para la sociedad puesto que se verá expuesta en un futuro próximo a problemas ambientales de gran envergadura.

El año 2007, Vince et al., publicaron un informe sobre el “Uso de la herramienta ACV para la evaluación ambiental de la producción de agua potable”, en él se mencionaba que los procesos que componen una potabilizadora usan diferentes cantidades de energía y recursos hídricos, y es preciso que cada empresa tenga indicadores ambientales de calidad para encontrar soluciones sostenibles de acuerdo a su situación.

A continuación se mencionan algunas investigaciones realizadas a nivel mundial que intentan analizar algún aspecto del ciclo del agua urbano, contar con estas experiencias previas, fortalece el estudio de nuevas alternativas de ACV.

En la investigación de Alvarez-Gaitan et al. (2012) orientada al rubro de los químicos en el tratamiento de aguas calcularon los impactos ambientales directos e indirectos asociados al proceso de manufactura. En ella, se combinó el análisis clásico entrada-salida con la característica específica de un modelamiento basado en procesos. El autor menciona, por ejemplo, que el estudio permite expandir las fronteras de modelos tradicionales, puesto que se usa información detallada tanto del proceso de manufactura como las variaciones económicas en el coste de los productos y los insumos utilizados para su elaboración.

Por otro lado, el planeamiento estratégico de una planta de tratamiento de gran tamaño mediante el uso de un ACV, realizado por Lundie et al. (2004), se utilizó la herramienta para la predicción de alternativas que contemplaran el crecimiento de las compañías y la implementación de tecnologías para disminuir las cargas ambientales. Este análisis fue complejo puesto que fue realizado para un ciclo de agua urbano completo, los datos utilizados para el cálculo se basaron tanto en la información real de las plantas encuestadas sino también que se extrapolaron datos con una visión al 2021.

También, se han realizado análisis no sólo dentro de una misma planta de tratamiento, sino comparando hasta tres sistemas posibles para una extracción ambientalmente más adecuada, este es el caso del estudio de Lyons et al. (2009).

El estudio de Lyons et al. (2009), es realizado en Scottsdale-Arizona y compara tres posibles sistemas: de importación, reutilización y desalinización; en base a los datos de infraestructura y de operaciones, se evaluó cuál de ellas reportaba menores impactos en base a la ubicación del sistema respecto a la población, los materiales utilizados, los químicos y nuevas tecnologías, etc.

Los resultados del análisis en estos tres sistemas evidenciaron que realizar una recuperación de aguas residuales posee cargas ambientales menores que los otros dos sistemas, estos sistemas de importación y reutilización, tienen resultados comparables en las categorías de daño. Sin embargo, los impactos de la fase de operación resultan mayores a los impactos de la fase de construcción considerando incluso un tiempo de vida de las estructuras corto, 10 años (Lyons et al. 2009).

Existen otros estudios en plantas de tratamiento que comparan por ejemplo dos sistemas de tratamiento diferente. Bonton et al. (2012) realiza un ACV comparativo de dos plantas de tratamiento, una planta convencional basada en el tratamiento con Carbón Activado Granular (GAC) diseñada virtualmente y otra planta de nanofiltración existente en Quebec.

El estudio encontró diferencias en los impactos, por un lado, concuerdan en que la fase que más impacto tiene para ambas plantas es la fase de operación; sin embargo, los impactos mayores en la planta GAC fueron debido a al uso de químicos, específicamente el Carbón Activado Granular y a las fuentes de energía usadas en la producción de sus componentes (Bonton et al. 2012).

Investigaciones de esta naturaleza tienen como fin utilizar una herramienta de manejo ambiental, ACV, para el análisis de diferentes escenarios y para la comunicación apropiada de información a municipalidades, usuarios finales y clientes industriales como sucedió en el caso de la región de Sicilia, Italia (Borghi et al. 2010). En el caso mencionado se partió del análisis de diversos problemas propios de la región como sequía, incremento de la construcción de plantas desalinizadoras y otros usos industriales, aplicados a las etapas de colección, tratamiento y distribución del agua potable. A partir de dicho marco de referencia, se aplicó el ACV a las etapas de colección, tratamiento y distribución del agua potable en Sicilia. (Borghi et al. 2013).

Los análisis más recientes respecto al agua, son cada vez más completos, como lo evidencia el estudio de Diogo Lemos et al. (2013). Mediante el cálculo de impactos calculados para todo el sistema urbano de agua en la municipalidad de Aveiro (Portugal), dicho sistema incluía la administración del agua, extracción de agua y su tratamiento, distribución de agua, además del tratamiento, recolección y disposición final de las aguas residuales. De su análisis concluye que las fases que generan mayores impactos son la extracción y el tratamiento del agua puesto que estas etapas implican un alto consumo de energía. Junto a esta conclusión el autor añade que las propuestas de mejora pueden ayudar al sistema en estudio a sentar las bases de las mejoras en los procesos de toma de decisiones.

Después de lo expuesto, se puede observar que el panorama para realizar análisis de ciclo de vida sigue ampliándose, por lo que el campo analizado en el presente estudio es apenas un aspecto dentro de un sistema de agua completo. Las futuras investigaciones en el sector saneamiento, específicamente en el Perú son una oportunidad para mejorar los sistemas que aún deben ser descubiertas por los tomadores de decisiones.

### 3. ESTUDIO DE CASO

Moquegua es una ciudad ubicada al sur del país, es la capital de la provincia Mariscal Nieto que a su vez pertenece al departamento de Moquegua. Tiene una población de 59 682 habitantes (INEI 2014) y un total de 18 174 conexiones activas (SUNASS 2014b). El área de influencia de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Moquegua puede ser apreciada en la Figura 3.1, en dicha imagen también se observa la situación geográfica de la planta de tratamiento respecto a la ciudad.



**Figura 3.1** Ubicación de Planta de Tratamiento Chen Chen respecto al área beneficiada por el agua tratada. Fuente: Google Earth

La planta de tratamiento de agua potable Chen Chen, se encarga de realizar los procesos necesarios para lograr que el agua a ser tratada en sus instalaciones cumpla con las normas mínimas que describen sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Dichas normas están dadas por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano emitido por el Ministerio de Salud (2011) y otras normas señaladas por la Organización Mundial de la Salud (2006).

Para lograr que dichos parámetros se cumplan es necesario un continuo cuidado de los aspectos de operación y mantenimiento de la infraestructura, sin embargo, la mayoría de plantas de tratamiento en el país no se preocupan o no invierten

demasiado en dichos aspectos y esto da como resultado una deficiente calidad en el agua tratada.

A partir de estos datos, la EPS Moquegua implementa una serie de modificaciones en los últimos años, a fin de mejorar las deficiencias en el sistema actual, previo a estas modificaciones se realizó un análisis de la situación de la ciudad de Moquegua con respecto a las pérdidas en todo el sistema en la cual se describían las principales deficiencias halladas.

Según el Informe de Gestión 2008 (EPS 2009) se tiene un exceso de producción de agua pero debido a las pérdidas no se llega a abastecer a la población de manera continua, es decir las 24 horas del día. Asimismo, el informe revela que las principales causas de pérdida son el mal estado de las redes de distribución en algunos sectores de la ciudad así como la falta de micromedición y falta de dispositivos para el balance hidráulico de la red. Otras causas de pérdidas son la topografía de la ciudad al ser variada genera presiones de 80 m.c.a en algunos sectores mientras en otros apenas se logra 7 m.c.a, y el rango permisible comprende entre 10 y 50 m.c.a.

A lo largo de los últimos años se han realizado esfuerzos para mejorar la calidad, es por esto que en el año 2007 se empezó el proceso de implementación del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001, con el fin de encontrar la mejor metodología para los procedimientos en la empresa de manera que se logre eficiencia en la entidad. La certificación ISO 9001 se logró obtener el año 2009, y con esto se obtuvieron beneficios como una mejora en el seguimiento de procesos estandarizados por los responsables de las operaciones en la empresa.

Por otro lado, a partir del año 2006 se implementó el “Programa de Medidas de Rápido Impacto” desarrollado en colaboración con la GTZ. Este plan se llevó a cabo en la ciudad de Moquegua, y consistía mejorar la calidad y continuidad del servicio de agua potable y por medio de estos logros mejorar la situación económica y financiera de la EPS (GTZ 2008).

En el marco de este plan la EPS Moquegua realizó las siguientes actividades: sectorización del sistema, identificación de zonas con altos índices de pérdidas, optimización del sistema operacional por medio de instalación de válvulas reductoras de presión, etc. Además se adquirieron equipos como Data Loggers, medidor de flujo tipo ultrasonido y geófono acústico para la detección de fugas no visibles.

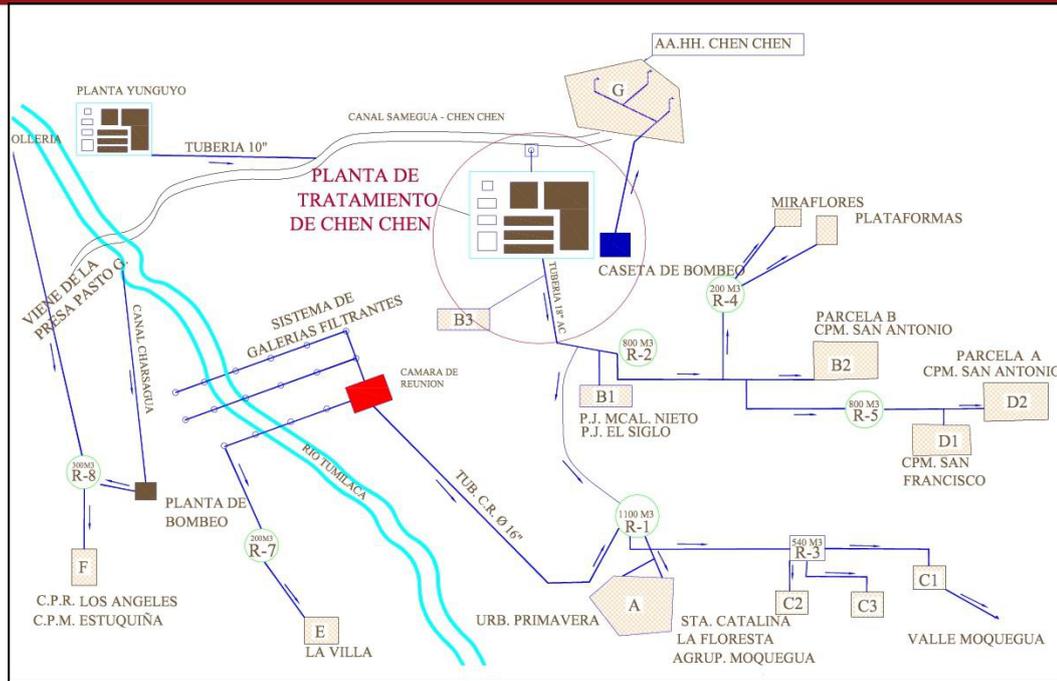
Paralelamente a las actividades se dio una contribución decisiva al mejoramiento de los sistemas mediante la capacitación del personal técnico respecto a procedimientos manuales para detección de fugas en zonas domiciliarias o públicas y también respecto al manejo de nuevos equipos para mediciones de parámetros hidráulicos e interpretación de dichos datos (GTZ 2008).

El proceso seguido para implementar estas medidas fue estimar la magnitud de pérdidas de agua a través de la implementación de sistemas de macromedición. Con la ayuda de esta práctica se reportó un incremento en la facturación por agua distribuida en favor de la empresa prestadora de servicios, así como también la mejora en la continuidad del servicio; por otro lado, al aumentar la cantidad de agua disponible en la red, personas a las que anteriormente no se lograba dotar con este recurso se verán beneficiadas con una posibilidad de conexión a la red o aumento de las horas en las que se cuenta con agua.

Para el año 2009 se realizaron mejoras tanto en la continuidad en numerosos sectores como en redes matrices, mejora de presiones, ampliación de redes y mejoramiento de líneas. Al trazarse nuevas metas para el plan maestro optimizado de la gestión 2009-2035, se pudieron implementar nuevos medidores, un aumento de las conexiones activas de agua potable, construcción de nuevos reservorios, mejorar la continuidad, la estabilidad en el rango de presiones así como la presencia de cloro residual.

### **3.1 PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

La planta de tratamiento en la ciudad de Moquegua está organizada como se muestra en la Figura 3.2. En dicha figura se enmarca la Planta de Tratamiento de Chen Chen puesto que en ella se realizan todos los procesos de tratamiento de agua potable que se brinda a la ciudad de Moquegua. Además, se excluye todos los procesos aguas arriba, colección, y aguas abajo, distribución.



**Figura 3.2** Esquema integral del sistema de agua potable Moquegua

Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno

Al identificar el área del sistema, resulta más sencillo delimitar los procesos que ocurren dentro de este espacio. Dichos procesos comprenden tanto la infraestructura de la planta, como los químicos usados para el tratamiento de cada m<sup>3</sup> de agua tratada.

La planta se ubica en la zona de Chen Chen, en el distrito de Moquegua. El año 1997 empezó a operar con un caudal de 160 l/s a 40 l/s de agua captada, aunque actualmente su caudal de operación es de aproximadamente 200 litros por segundo (EPS 2011a), el abastecimiento del caudal mencionado proviene del Río Huaracane y del Canal Pasto Grande. Esta planta procesa agua para aproximadamente 59 682 (INEI 2014) habitantes de la ciudad de Moquegua. Se considera que la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Chen Chen, Moquegua, tiene tecnología convencional de funcionamiento hidráulico por gravedad de sedimentación por flujo laminar y filtros rápidos auto lavables. Los procesos de tratamiento en la planta son simples y no cuentan con procesos de Pre-Tratamiento ni tratamientos adicionales.

El agua tratada en la PTAP pasa a través de seis procesos. Un primer proceso es la medición del caudal de agua, en el cual se realiza también la medición de las propiedades físicas y químicas del agua. Con los parámetros observados se pasa al segundo proceso que consiste en la dosificación y mezcla rápida, en la que son

añadidos químicos como el Policloruro de Aluminio (PAC) y el Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ); gracias a la acción de estos químicos, el tercer proceso de floculación es llevado a cabo específicamente en la estructura compuesta por pantallas de polietileno de alta densidad (HDPE).

En el cuarto proceso el agua floculada ingresa a los decantadores en los que pasa por una zona de tuberías y otra zona de lodos, al pasar por esta zona se realiza una separación de los sólidos de mayor tamaño. Para separar los sólidos restantes, de menor tamaño, del agua se pasa por el quinto proceso que consiste en la filtración, la infraestructura de los filtros está diseñada para retener los sólidos más pequeños en una cama filtrante o de retener las partículas en la superficie. Finalmente, el último proceso consiste en la cloración del agua que permite eliminar los elementos que puedan influir en las propiedades organolépticas del agua.

La planta de tratamiento fue construida para que todos sus procesos operen por energía hidráulica. Dicha energía será usada en los procesos de dosificación, cloración, bombeo para inyectar cloro gas al agua, alumbrado de los ambientes, motor del banco de medidores, etc.

A continuación se describirán las estructuras que componen la planta de tratamiento, cada una de ellas representan un proceso que luego será evaluado individualmente.

#### a. Medición, mezcla rápida y dosificación

Durante esta etapa se realiza la medición de los características físico-químicas que componen el agua que proviene de la presa Pasto Grande (Figura 3.3), de acuerdo a los procedimientos de control se realiza una análisis visual y si se realizan algunos ensayos para determinar la cantidad de insumos a verter en el agua.

Una vez realizada la dosificación del coagulante, el cloruro férrico y el Policloruro de Aluminio (PAC), las partículas suspendidas forman un cuerpo de mayor tamaño que posteriormente es retirado en la filtración. Es importante acotar que mediante la coagulación la carga eléctrica negativa de la superficie es neutralizada, además se eliminan micro-partículas con medidas entre 1 y 2  $\mu\text{m}$  (Desireé Marín en Comas et al. 2012).

Las características para realizar una dosificación son la concentración y tipo de partículas, concentración y características de los materiales orgánicos naturales, la temperatura del agua y la calidad del agua (Crittenden et al. 2012).

Dentro de este proceso se observa que formarán parte componentes como cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y policloruro de aluminio (PAC) que serán dosificados en el resalto producido en el cambio de pendiente. El PAC, un producto prehidrolizado, es recomendado para aguas de baja turbidez y baja concentración de partículas, agua de preferencia a bajas temperaturas, y con un PH entre 4.5 – 9.5. Con una dosis adecuada logra la desestabilización deseada de las partículas.

Por otro lado, el  $\text{FeCl}_3$  se encarga de la remoción de turbidez, desinfección de materias orgánicas naturales, de dar un color adecuado y se recomienda para PH entre 6 y 8. De esta serie se produce el ion fierro y ion cloro que ayudarán a la desestabilización de partículas.



**Figura 3.3** Zona de mezcla rápida y dosificación

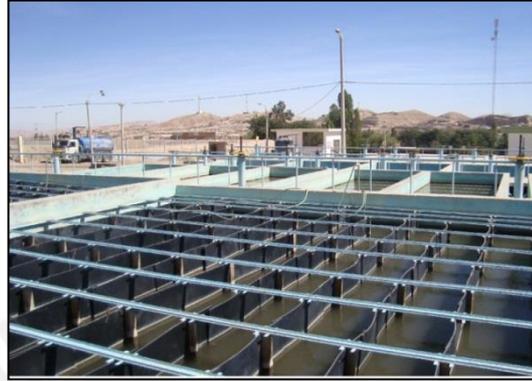
#### b. Floculador

En esta etapa el agua que pasa a través de los diversos tramos divididos mediante pantallas de polietileno de alta densidad (HDPE), la mezcla afectada por una ligera agitación, busca facilitar la unión de partículas formando un cúmulo de mayor tamaño para una rápida decantación en la siguiente etapa.

Existen tres mecanismos de floculación (Crittenden et al. 2012), micro escala (Perikinetic) en el que se generan pequeñas agregaciones de partículas que forman otras más largas en corto tiempo, macro escala (Orthokinetic) que debido a gradientes de velocidad causan colisiones entre las partículas suspendidas y por último la disposición diferencial que consiste en la sedimentación de partículas debido a que poseen diferentes velocidades debido a los mecanismos de floculación.

En el caso de la planta de tratamiento evaluada se usa un sistema de floculación hidráulico de pantallas (Figura 3.4), los arreglos en dicho sistema generan

turbulencias y una floculación deseada. Este tipo de mecanismo se usa por lo general debido al bajo nivel de experiencia operacional y de mantenimiento disponible, por su costo moderado, facilidad para su construcción, un bajo esfuerzo para el mantenimiento y su simplicidad debido a que sus partes no se mueven (Crittenden et al. 2012).



**Figura 3.4** Zona de floculadores

c. Decantadores

La decantación es un proceso por el cual los flóculos formados, partículas individuales y largas cadenas de partículas, son separados del agua gracias a la gravedad, y son llevados a una zona de lodos (Crittenden et al. 2012). Después de ser floculada el agua ingresa a la zona de decantación, mediante el paso por las secciones variables los lodos restantes deben atravesar el flujo laminar y ascendente así como pasar por tuberías perforadas (Figura 3.5).

El objetivo de esta etapa es lograr la deposición de los sólidos suspendidos en el agua, dichos sólidos provienen tanto del agua en su estado inicial como del agua procedente de la coagulación y floculación (Desireé Marín en Comas et al. 2012).



**Figura 3.5** Zona de decantación

#### d. Filtros

En esta etapa se retiran las partículas más pequeñas o ligeras, que no llegaron a sedimentar. En general se conoce dos tipos de filtración, por un lado se tiene la generada por un sistema de soporte que consiste en retener las partículas en la superficie, y por otro lado se tiene la generada por una cama filtrante compuesta por arena, grava y otros (Desireé Marín en Comas et al. 2012). En la figura 3.6 se aprecia la zona de filtros diseñada para desempeñar los dos tipos de filtraciones.

Dicha cama filtrante está conformada por diversas capas compuestas de arena y gravilla (EPS 2000). El medio filtrante tiene como fin eliminar los sólidos finos que se encuentran suspendidos que pueden ser restos animales o vegetales. Su propósito es reducir al mínimo la cantidad de sólidos con dimensiones muy pequeñas.



**Figura 3.6** Zona de filtros

#### e. Caseta de cloración y cámara de contacto

Con el fin de eliminar la materia remanente, los olores y sabores, y destruir los agentes patógenos, es necesario utilizar un proceso químico para realizar una desinfección final que consiste en un proceso denominado inactivación, que vuelve a los microorganismo incapaces de reproducirse y limita su habilidad para causar enfermedades. Dicho proceso se lleva a cabo en la caseta de cloración (Figura 3.7).

Para evitar la intrusión de contaminantes microbiológicos Crittenden et. al. (2012) recomienda tres estrategias complementarias: prevenir su acceso a fuentes de agua, emplear un tratamiento previo para reducir su concentración en agua y maximizar la integridad del sistema de distribución para lograr una calidad adecuada del agua.

La desinfección del agua tiene dos partes, primaria cuando se inactivan los microorganismos y secundaria cuando se mantiene una cantidad residual de desinfectante en el sistema de distribución. En esta etapa secundaria la cloración cumple un rol muy importante, pues permite mantener un residual de cloro desde que el agua sale de la cámara de contacto hasta que llega a los usuarios (Desireé Marín en Comas et al. 2012).

Existe una variedad de procesos para esta fase final, tales como radiación UV, permanganato de potasio, ionización con plata y oro, o los derivados de la oxidación con cloro (Crittenden et al. 2012). Sin embargo, el cloro en general es usado debido a su bajo costo, propiedades desinfectantes contra bacterias, virus y protozoos, además de controlar componentes como olor y sabor.

Como menciona el National Research Council (1987), el uso de un producto como el cloro cumple un rol importante para prevenir enfermedades como el cólera o la tifoidea. Sin embargo, existe un riesgo importante producto de la combinación de dicho desinfectante con materia orgánica, como algas y plantas, e incluso con materia inorgánica.

El principal riesgo es la formación de subproductos de la desinfección (DBP, Disinfection By Products). Dichos sub-productos pueden ser causantes de mutaciones, cáncer, y otros riesgos a la salud dependiendo de la exposición a la que esté expuesta una persona. Algunos de los sub-productos causados por el tratamiento de agua con cloro son los trihalometanos (THM) y ácidos haloacéticos (HAA) (Hsien-chun et al. 2015). A pesar de la existencia de dichos riesgos, la empresa encargada de administrar la potabilización del agua, debe estar pendiente de que se cumplan con los niveles mínimos requeridos, mayores a 0.5 mg/L (MINSA 2011), para garantizar la salud de la población.



**Figura 3.7** Sala de cloración

## 4. METODOLOGÍA

El presente estudio tiene tanto el componente cuantitativo desarrollado bajo la visión de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y un componente cualitativo de percepción de la población en cuanto a la calidad y usos del agua investigado bajo la metodología de entrevistas.

Para el primer componente, el desarrollo de un ACV implica plantear adecuadamente el objetivo y el alcance del estudio. Objetivos precisos permitirán una búsqueda adecuada de interconexiones entre los datos procesados y orientar correctamente el estudio hacia los actores de interés. Los alcances siguen el proceso de definición de una unidad funcional, delimitación del sistema, obtención de datos con el detalle de sus respectivas fuentes y limitaciones. Todos estos parámetros son comentados por el documento ISO 14040 (ISO 2006a).

Para iniciar un ACV es preciso, realizar un diagrama con todas las entradas y salidas que forman parte del sistema. Para esto se debe visualizar todas las zonas del sistema y empezar a realizar una compilación del inventario de los materiales, químicos y energía necesarios utilizados en cada lugar (ISO 1998). Una clasificación primaria de los productos ayudará a definir las relaciones de relevancia que existen así como las interconexiones que se podrán desarrollar entre los productos, por ejemplo una división entre procesos de construcción y procesos de operación.

En la búsqueda de datos es preciso definir los límites a estudiar en el sistema y por cada proceso, con el fin de obtener resultados significativos acorde a la cantidad de datos con la que se dispone. Como sugiere Curran (2008), para evitar problemas debido a la disponibilidad y calidad de los datos, es importante reducir la cantidad de datos requeridos, esto con el fin que los resultados de la investigación sean confiables y disponibles para otros usuarios.

Todo este procedimiento anterior forma parte del Inventario de Ciclo de Vida; sin embargo, este apenas es el primer paso puesto que luego se realiza el análisis de impacto propiamente dicho. El segundo paso es la caracterización, etapa en la que cada producto que formaba parte del inventario pasará a formar parte de una o varias categorías de impacto, esto se debe a que cada material produce múltiples impactos dependiendo de su composición y procesos que recorrió en su producción.

Posteriormente, se pueden seguir métodos de normalización que asignan el impacto causado a un ciudadano promedio en un año y la valoración que determina la importancia del daño de acuerdo a situaciones culturales específicas. Sin embargo estos métodos son opcionales (ISOa 2006), y pueden presentar serios problemas al momento de la interpretación debido a que los datos utilizados por lo general son basados en un contexto europeo (Lyons et al. 2009).

Para el segundo componente, se utiliza como herramienta metodológica la entrevista cualitativa, que busca en su análisis los elementos de la subjetividad humana que se manifiestan en las acciones de las personas en el campo económico, social, cultural, etc. Vela Peón (Tarrés et al. 2013) menciona que esta concepción es consecuencia tanto de las “insuficiencias” del enfoque cuantitativo que toma a las personas como un número y no como un conjunto con complejas interdependencias, así como de la información inadecuada generada por técnicas tradicionales que no responden al comportamiento real de los individuos.

#### **4.1 GENERALIDADES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

El ACV, permite entender el perfil medioambiental de un sistema e identificar prioridades para mejorar la eficiencia del material o proceso que compone el sistema, una gran ventaja es que considera tanto impactos ambientales globales como regionales. Además, es una “herramienta de comparación relativa y no de evaluación absoluta, de modo que ayude a los tomadores de decisiones a comparar todos los mayores impactos ambientales cuando elija entre cursos de acción alternativos” (Curran 2008).

En el artículo sobre la evaluación de impacto ambiental en el diseño de sistemas de distribución de agua realizado por Herstein et al. (2009), asevera que el ACV es un método que incorpora el impacto ambiental y sostenibilidad ambiental dentro de las consideraciones del diseño de los sistemas de distribución de agua, realizando una evaluación desde la extracción, la manufactura, el uso y la disposición de los componentes del sistema.

Las normativas de la familia ISO 14000 (1998, 2006a, 2006b) ayudan a tener resultados en términos estandarizados; la norma indica que las evaluaciones de eco eficiencia se harán mediante LCA, los valores serán expresados en términos monetarios o de acuerdo a aspectos valorativos; se usará una terminología clara y una metodología común (Finkbeiner, 2013).

Por otro lado, “Los estándares son creados para hacer consistente alguna actividad o proceso, o al menos que sea hecho usando métodos y lineamientos comunes” (Matthews et al. 2014:80). El ISO 14040 es un estándar global para el manejo ambiental cuya versión más actualizada data del año 2006. Esta norma ayuda a guiar estudios realizados desde diversos enfoques, distintos países y ejecutados por un amplio número de personas, con el fin de comparar resultados de alguna manera y poder aportar al avance del conocimiento colectivo sobre un determinado tema.

Se tiene 4 fases para el estudio de un análisis de ciclo de vida basado en la normativa ISO 14040 y que pueden ser observados también en la figura 4.1.

- a) Definir de alcances y objetivos
- b) Realizar un inventario y su respectivo análisis
- c) Desarrollar la evaluación de impacto
- d) Interpretar los resultados



**Figura 4.1** Fases para un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La ayuda de la herramienta ACV, es identificar las oportunidades de mejora en la actuación de productos en la mayor parte de puntos del proceso, informar a los encargados de la empresa sobre el planeamiento a realizar para mejorar productos o procesos, y seleccionar indicadores relevantes de calidad ambiental y además de adecuadas técnicas de medición.

En el artículo de Blanca Romero sobre El Análisis de Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental (2003), se menciona que las instituciones reciben beneficios del ACV, pues este análisis les permite ponderar los impactos causados por sus productos y servicios al medio ambiente; con la información dada por el ACV se puede hacer

frente al deber primordial de atender las responsabilidades legales, sociales y políticas que tiene la empresa, ya que el incumplimiento de dichos compromisos podrían implicar pérdidas económicas y de imagen empresarial.

Aunque en algunos casos no se pueda realizar un análisis de ciclo de vida completo y con datos exactos resulta una herramienta de gestión ambiental muy útil, cuyas características específicas serán desarrolladas en el siguiente acápite.

#### 4.1.1 PROCEDIMIENTOS GENERALES DE UN ACV

A continuación se toma como referencia la ruta sugerida por la ISO 14040 e ISO 14044 para describir brevemente los procedimientos generales iniciales para la elaboración de un ACV.

El ACV, está por lo general determinado por la materia y energía que interviene en un proceso. Este postulado representa una ventaja puesto que es posible cuantificar la mayor parte de datos necesarios, y una desventaja en algunos casos puesto que omite otros criterios sensibles como olor, ruido e intrusión visual (Powell et al. 1995). A pesar de estas limitaciones, el ACV no deja de ser una herramienta poderosa para la evaluación ambiental, y los continuos avances en su implementación permiten una visión holística de los temas investigados. Otras ventajas del ACV son el monitoreo constante de los aspectos ambientales relevantes, ayuda a la planeación o mejora de las políticas de la empresa respecto a la sostenibilidad, y establece una línea base para la comparación futura con sistemas mejorados (Lundie et al. 2005).

Un ACV tiene cuatro etapas determinantes: la primera, la definición de alcances y objetivos, la segunda, la definición del inventario, la tercera, la evaluación de impacto y la cuarta, la interpretación de resultados. El análisis de impactos consiste en la clasificación, caracterización y valoración de los datos obtenidos en el Inventario de Ciclo de Vida (ICV), y es la fase determinante para una buena interpretación de resultados (ISO 2006b).

La definición de objetivos es importante pues con la ayuda de metas bien definidas será posible llegar a resultados reales. En esta etapa se toma la decisión acerca del tipo de análisis que desarrollará tanto si se analiza un solo elemento como si se quiere comparar dos productos distintos o dos procesos diferentes para el

desarrollo de un mismo producto. Además se decide el nivel de detalle al que se quiere llegar.

Un siguiente paso a realizar recomendado por la normativa ISO 14044 (2006a) es definir los alcances del sistema basándose en analizar el sistema a estudiarse y la unidad funcional y límites con que este contará, además de otros datos importantes como datos requeridos, tipo de interpretación a realizar, calidad de datos, entre otros.

Escoger la unidad funcional adecuada es de suma importancia para el análisis ya que permitirá realizar cálculos numéricos respecto a una misma cantidad no solo representativa sino también que evidencie todas las características del análisis y permita realizar una comparación cuantitativa. Esta equivalencia servirá para los datos de entrada y salida del sistema.

El establecimiento de los límites del sistema se realiza en base a los alcances previamente establecidos y están relacionados al área geográfica en el que se realiza el estudio, el horizonte de tiempo, y la determinación del punto de inicio y punto final al que será aplicado el ACV (Tillman et al. 1994). Definir correctamente los límites es fundamental para lograr un nivel de detalle proporcional al tamaño del sistema y acorde al propósito del estudio (Curran 2008).

Por último, un lineamiento a tener en cuenta es la calidad de datos requeridos pues de estos depende la confiabilidad de nuestros resultados finales. Para este caso se debe tener en cuenta la precisión, representatividad, consistencia y reproducibilidad de los procedimientos usados, así como la incertidumbre de la información recolectada.

## 4.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

El objetivo de realizar un ACV de la planta de tratamiento de agua potable en la ciudad de Moquegua es realizar una evaluación de los impactos generados en la producción de cada metro cúbico de agua para un promedio anual.

Esta cuantificación tiene como fin evaluar qué ocurre al reducir las pérdidas en el sistema de dicha planta de tratamiento, aunque los volúmenes de agua totales ahorrados al año no parecen muy significativos en el ámbito económico, si tienen un impacto evidente en el ámbito ambiental.

Este análisis se desarrolla tomando en cuenta la evolución del sistema de agua en la planta de tratamiento y se desarrolla a partir de una unidad funcional que ayudará a estandarizar los impactos acorde a cantidades representativas.

#### **4.2.1 ESTABLECIMIENTO DE UNIDAD FUNCIONAL**

La función fundamental de una planta de tratamiento de agua potable es producir agua con una calidad específica; dicha propiedad es verificada por agentes a nivel nacional como la Autoridad Nacional del Agua y el Ministerio de Salud.

La unidad funcional es volumen de agua consumido por los usuarios del sistema (Herstein et al. 2009) y será medida por cada metro cúbico producido, bajo los estándares de calidad demandados a nivel nacional. La unidad funcional fue seleccionada además por la facilidad para comparar el resultado cuantitativo de ahorrar cada metro cúbico de agua.

Todos los datos de entrada como materiales, insumos o energía, estarán en base a dicho m<sup>3</sup> de agua producida, de esta manera los datos de salida como emisiones o pérdidas producidas serán presentados de una manera clara y representativa. Como señala la normativa ISO 14040 (2006a), “el propósito primario de la unidad funcional es proveer una referencia para la cual las entradas y salidas estén relacionadas”.

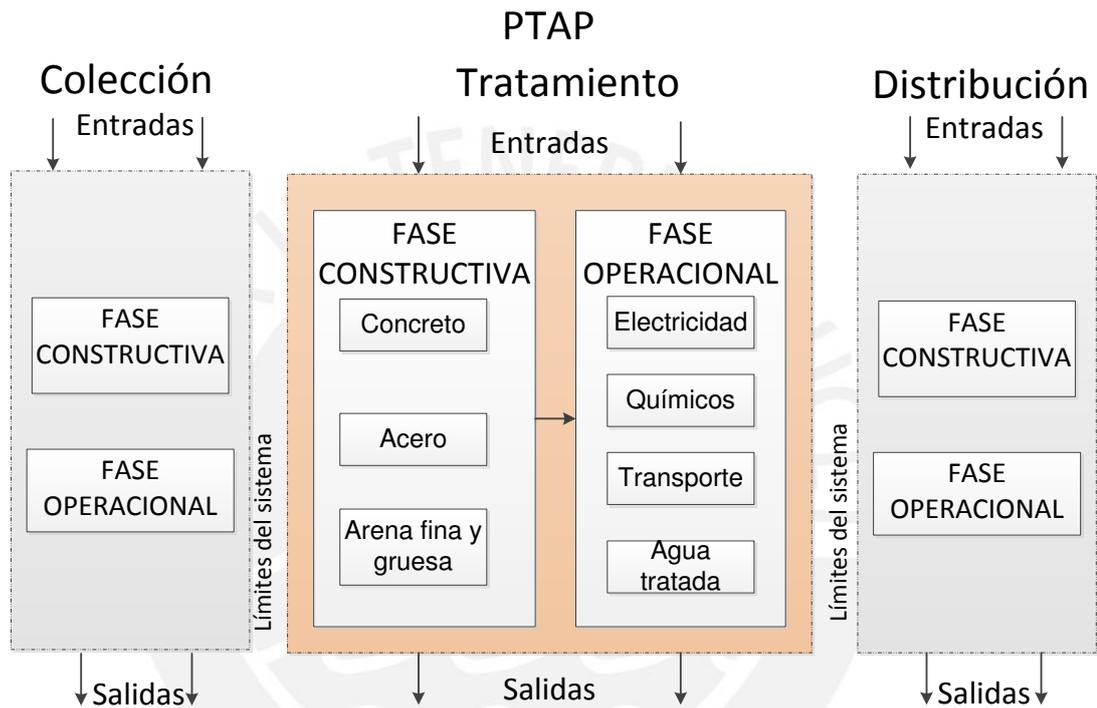
#### **4.2.2 DETERMINACIÓN DE ALCANCES Y FRONTERAS**

En el presente caso de estudio, la metodología de ACV es aplicada a la planta de tratamiento de agua potable administrada por la EPS Moquegua. Se busca evaluar el impacto ambiental que producen los materiales y energía utilizados para producir un metro cúbico de agua.

Este análisis va dirigido a todos los grupos de interés relacionados al tratamiento del agua, pero en especial a los encargados de la potabilización este recurso vital. Los administradores, ingenieros, operadores, etc., son responsables de todas las prácticas realizadas dentro de la institución y por lo tanto esta herramienta podría resultar de gran ayuda como un hito en el análisis de calidad ambiental.

En general, todos los sistemas están conformados por varios sub sistemas que a su vez están conformados por otros aún más pequeños; la delimitación de las fronteras ayuda a darle una relevancia adecuada a cada proceso que conforma el sistema, por medio de una selección de parámetros acorde a los objetivos buscados.

En la Figura 4.2 se muestran las fronteras a considerar para la evaluación de la planta de tratamiento de agua potable.



**Figura 4.2** Fronteras del sistema a evaluar. Diagrama basado en Figura 2 de Sharaai et al. (2011)

Esta simplificación muestra que se tomará en cuenta el transporte que conduce a la materia prima hacia el área de producción de agua; las materias primas necesarias tales como: químicos y elementos para la infraestructura, concreto y acero; y la energía requerida para la producción básicamente comprendida por el bombeo y alumbrado dentro de la empresa.

### 4.3 INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

El Inventario de Ciclo de Vida es la segunda etapa de un análisis de ciclo de vida proceso que cuantifica la energía y la materia prima utilizada tanto a la entrada como a la salida de un ciclo de vida.

Según la ISO 14040 (2006a, pp.2) el inventario de ciclo de vida es la “fase del análisis del ciclo de vida que implica la compilación y cuantificación de las entradas y salidas para un producto a través de su ciclo de vida”.

Para esta etapa es preciso diagramar las entradas y salidas de nuestro sistema a evaluar, así como realizar la calificación de confiabilidad de nuestro estudio a evaluar. En este diagrama se debe incluir tanto los procesos esenciales del sistema como materiales y energía, así como otros elementos determinantes como son los compuestos contaminantes que son emitidos al ambiente.

En esta etapa es elemental organizar la data recolectada puesto que de esta manera se puede comparar los impactos ambientales y las mejoras potenciales que tiene el sistema (Curran 2008) además el diagrama ayuda en gran parte a limitar donde inicia o termina el proceso unitario que se está limitando, y las operaciones que acontecen dentro del mismo (ISO 2000).

Por otro lado, la normativa ISO 14041 nos sugiere utilizar un análisis de sensibilidad para concretar el inventario, dicho análisis implica excluir etapas o procesos cuando no son muy significativos o excluir entradas y salidas que no tienen importancia para los resultados del estudio. Con la ayuda de este análisis se podrá determinar mediante criterios de masa, energía y pertinencia ambiental si las entradas y salidas son relevantes (ISO 2000).

El inventario de ciclo de vida nos permite clasificar nuestros elementos en determinadas etapas, escoger solo los más relevantes, y además debe cumplir con la condición que cada criterio de selección debe ser especificado de manera que el estudio pueda ser reproducible y comparado.

#### **4.3.1 FUENTES DE DATOS DEL INVENTARIO**

Todos los procesos se basaron en el uso de Ecoinvent 3.1 (Ecoinvent Centre 2014), la versión del año 2014 del inventario. Esta base de datos al igual que sus versiones predecesoras que cuenta con documentación para miles de productos, actualizados continuamente y cuya información es transparente y consistente; a partir de esta base de datos se pueden construir procesos que nos ayudarán a realizar un adecuado análisis de ciclo de vida (Frischknecht et al. 2007).

El inventario utilizado para esta investigación proviene de la base de datos Ecoinvent 3.1 pero presenta limitaciones como su diseño para un contexto Europeo, este debe ser modificado y adaptado a la realidad local; por otro lado, cuenta con

pocos procesos orientados al sector del tratamiento de agua potable por lo que análisis de ciclo de vida podría no ser robusto (Bonton et al. 2012).

Todos los datos fueron obtenidos de data primaria (Tabla 4-1), es decir de los archivos propios de la empresa. La mayor parte de cantidades tienen una confiabilidad y representatividad bastante alta puesto que los datos fueron calculados en base a documentos de la empresa (EPS 2000, 2009, 2011) y reportes internos.

**Tabla 4-1 Limitaciones Metodológicas**

	Componente	Fuente de Datos	Calidad	Comentario
Consumo Energía	Sistema en General	Datos EPS	Alta	Datos exactos de la empresa
Productos Químicos	Cloro gas	Datos EPS	Media Alta	Datos obtenidos de la base de datos de la empresa.
	PAC			
	Cloruro Férrico			
	Hipoclorito de Calcio			
Infraestructura	Concreto	Planos EPS	Media Alta	Metrados aproximados de planos de la empresa
	Acero			
Otras áreas fuera del sistema	Concreto	Planos EPS	Media Alta	Metrados aproximados de planos de la empresa
	Acero			

Sin embargo; para los cálculos que toman en cuenta los materiales para la fabricación de cada elemento en el análisis propiamente dicho, estos datos fueron analizados con metrados de estructuras para la compilación final de la información.

La adquisición de datos, se basó en la información otorgada por la empresa EPS. Moquegua, por las áreas de producción y operación, que proporcionaron la información referente a los planos constructivos de la empresa así como los químicos y la electricidad usados a lo largo de 5 años. Dichos datos fueron de gran utilidad debido a que la información provenía de cada día de producción desde el 2010 hasta el 2014, exceptuando los últimos meses del 2013.

Datos como las cantidades utilizadas para producir 1kg de policloruro de aluminio (PAC por sus siglas en inglés), fueron obtenidos por un lado de las investigaciones realizadas por la Asociación Europea de Productores de Coagulantes Inorgánicos (INCOPA por sus siglas en inglés), que realizó un estudio anterior sobre los ciclos de vida que tenían sus coagulantes tales como aluminatos de sodio, aluminio y PAC (INCOPA 2014).

Para ciertos materiales como el cloro gas, la grava y la arena, cuales no se modificó ningún proceso de producción en el inventario de Ecoinvent 3.1. Sin embargo, si se modificó algunos datos en los procesos de materiales como ladrillos, concreto y acero, cloruro férrico y policloruro de aluminio. La mencionada modificación se debió a que los procesos de Ecoinvent fueron creados para asemejarse más a la producción realizada en el continente europeo, es por esto que datos como la electricidad implicada debieron ser modificadas al ámbito peruano. Por otro lado, Ecoinvent no cuenta con algunos procesos aplicados al tratamiento de agua, por lo que esto impide lograr un resultado robusto del tratamiento de agua (Bonton et al. 2012).

#### **4.3.2 CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA**

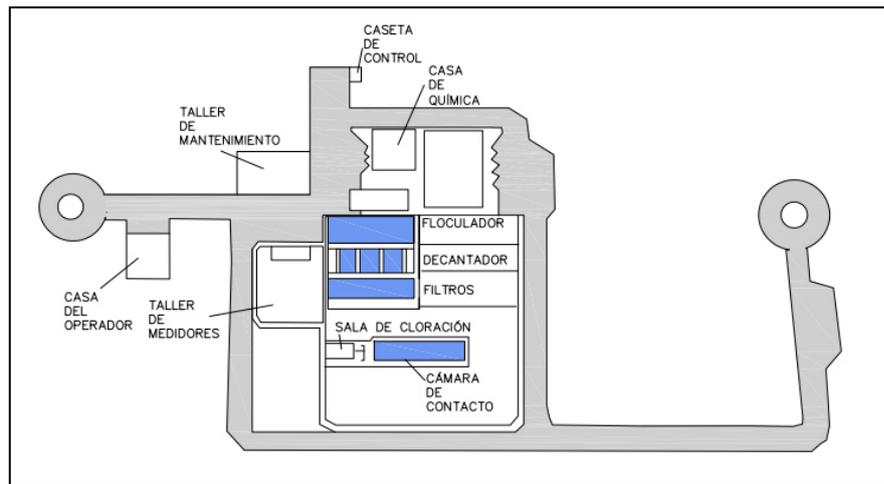
Un inventario de ciclo de vida, es la etapa considerada como la más importante en todo el proceso de creación de un ACV, debido a que se compilan datos cuantificables, por lo general, desde las fuentes mismas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se deben tomar algunas medidas para disminuir la incertidumbre y la variabilidad en los datos.

Por las razones mencionadas, antes de tomar criterios de entradas y salidas se debe tener en consideración los conceptos y las recomendaciones presentadas por el ISO 14044 (2006). En líneas generales se menciona que las entradas son “productos, materiales o flujos de energía que ingresan a una unidad de proceso” (ISO 2006:4); por otro lado, las salidas son “productos, materiales o flujos de energía que salen de una unidad de proceso” (ISO 2006:4).

Además las recomendaciones indican que se debe observar los siguientes puntos para un mejor criterio en la selección

- a) Si el porcentaje de masa es representativo para todo el sistema
- b) Si el valor económico es importante
- c) Si los impactos ambientales que produce cierto material o proceso son significativos

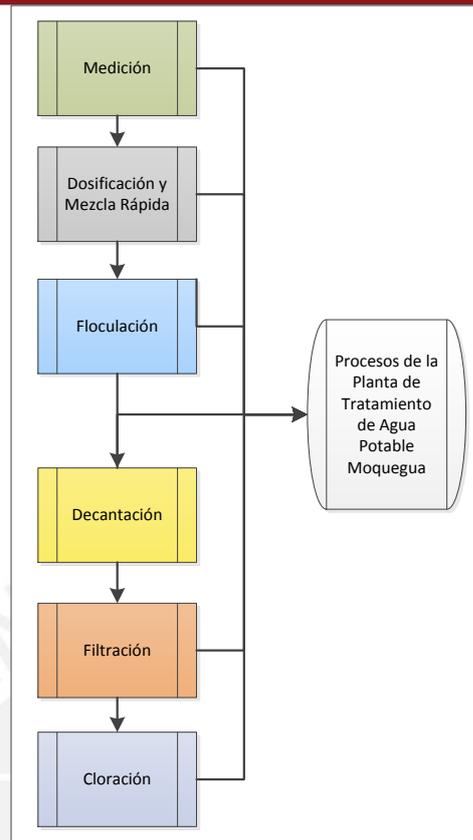
Cada uno de estos criterios es impreciso además de presentar muchas contradicciones al interior de los mismos, por lo que para realizar la evaluación se toma en cuenta los materiales que componen cada parte del proceso en la planta de tratamiento. Siguiendo estas pautas se podrá elaborar un inventario de ciclo de vida, que es un balance entre las entradas y salidas de todo el sistema delimitado, también llamado un eco balance del producto (Guinée et al. 2002 citado por Sharaai et al. 2011).



**Figura 4.3** Esquema de Planta de Tratamiento Moquegua

Para un correcto tratamiento de la información, se dividirá el sistema en dos etapas construcción y operación. La primera etapa referida a la construcción, en la cual se tomarán en cuenta los materiales principales que componen las instalaciones. La segunda etapa referida a la operación, en la cual se consideran los elementos utilizados diariamente, y que causan la mayor parte de cargas ambientales.

En la figura 4.4 se hace una descripción general de las etapas en el proceso de tratamiento de agua potable en la PTAP Chen Chen. Se desarrollará una explicación más detallada en el acápite 4.3.3.2 que hace referencia a los insumos específicos utilizados en cada etapa de tratamiento de agua potable en la ciudad de Moquegua.



**Figura 4.4** Procesos involucrados en la planta de tratamiento Chen Chen – Moquegua

### 4.3.2.1 POR ETAPAS

Una descripción por etapas ayuda a conocer mejor cómo está conformado el sistema, tanto por los materiales como por el diseño constructivo que posee cada tramo además en los gráficos 4.5 y 4.9 se aprecian los químicos más representativos para la fase de operación en la planta de tratamiento.

#### 4.3.2.1.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La etapa de construcción de una planta de tratamiento requiere de materiales básicos como:

- a) Cemento
- b) Agregado fino/arena
- c) Agregado grueso
- d) Agua
- e) Acero

La calidad del cemento, agregado fino y grueso, y agua afectará directamente a la calidad del concreto usado para la construcción, además de los procedimientos como el método de mezcla, el transporte y otros procesos.

Para lograr una buena certificación de todos los procesos será necesario que dichos productos hayan sido previamente estandarizados antes de la etapa de construcción. (Sharaai, 2012); en la presente evaluación se asume que la calidad del concreto y acero fue suficiente para resistir adecuadamente el tiempo de vida de la estructura considerado como 50 años.

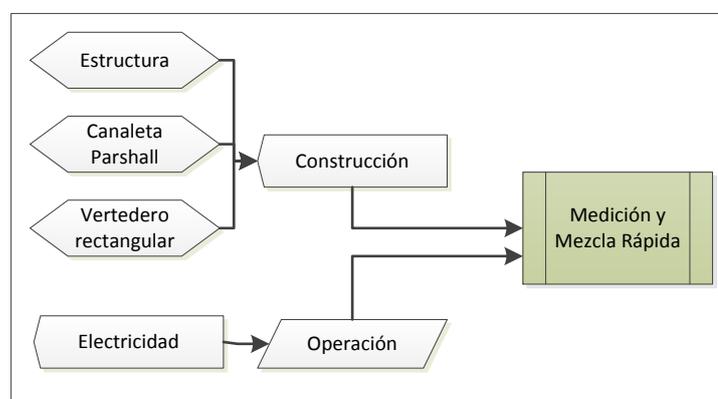
#### 4.3.2.1.2 ETAPA DE OPERACIÓN

A continuación se mencionan todas las fases que componen la etapa de producción describiendo cada etapa y presentando un gráfico general para evaluar la relevancia de los materiales.

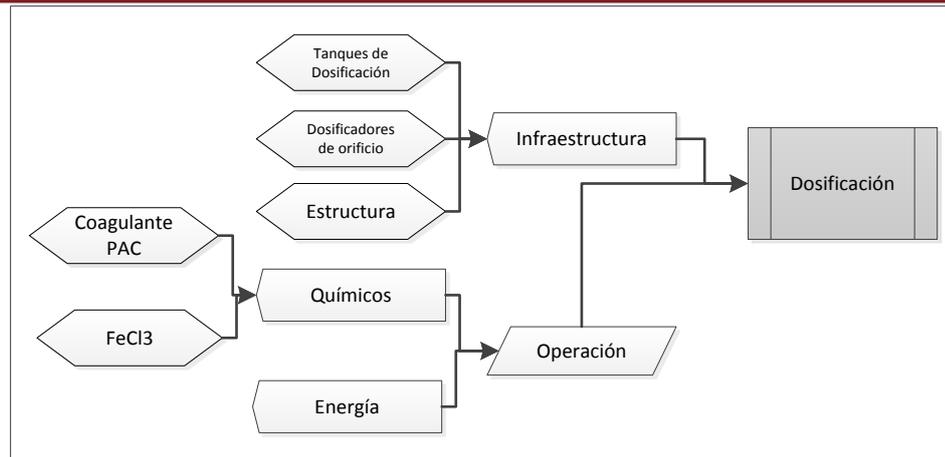
- DOSIFICACIÓN Y MEZCLA RÁPIDA

En el edificio de operación se tiene una sala de operación compuesta por dos tanques en los que se prepara la solución del coagulante y dos dosificadores de orificio de carga constante (OMS 2000). Posteriormente en la etapa de medición y mezcla rápida se cuenta con una canaleta Parshall con una garganta de 2 pies que cumple las funciones de mezclador y medidor de caudal (EPS 2000).

Dentro de este proceso se observa que formarán parte componentes como el PAC que será dosificado en el resalto producido en el cambio de pendiente. Otros elementos importantes serán un canal rectangular de 8m de longitud y sección 0.80\*0.80m, un vertedero rectangular de madera y una batería de filtros.



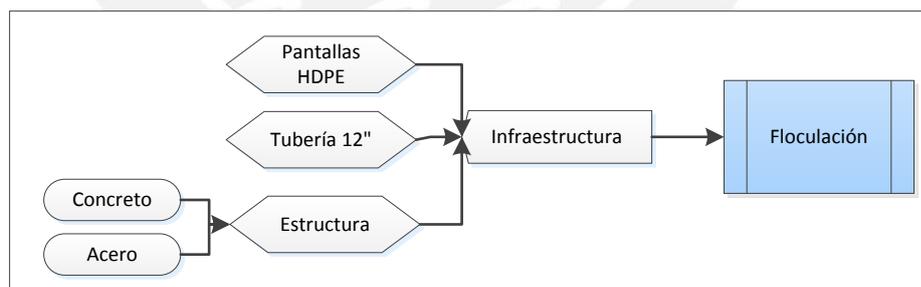
**Figura 4.5** Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Medición y Mezcla Rápida



**Figura 4.6** Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Dosificación y Mezcla Rápida

- FLOCULACIÓN

Esta etapa está compuesta por pantallas de HDPE de flujo horizontal, dividida en tres tramos con gradientes de velocidad decrecientes. Un primer tramo consta de 16 canales de 0.485 m de ancho y 9 m. de largo, al inicio de este tramo se tiene una plancha de concreto de 0.10 m. de espesor. Un segundo tramo consta de 12 canales de 0.657 m. de ancho y 9 m. de largo. Finalmente, un tercer tramo consta de 9 canales de 0.878 m de ancho y 9 m. de largo. A la salida de estos tres tramos se encuentra una tubería de 12" de diámetro por la que el agua pasará hacia los decantadores (OMS 2000).

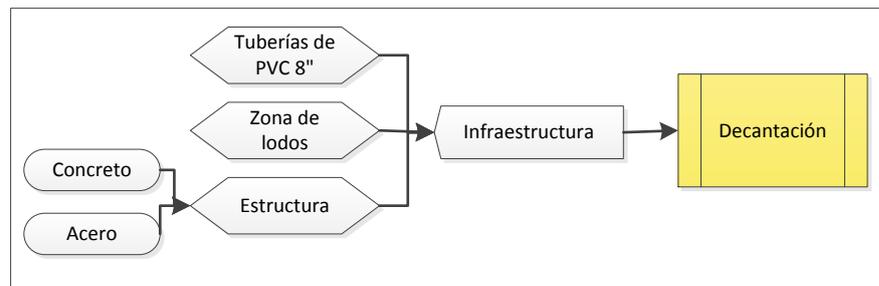


**Figura 4.7** Componentes de infraestructura en el proceso de Floculación

- DECANTACIÓN

Una vez floculada el agua ingresa a cuatro decantadores, en este proceso se tiene un canal de sección variable que ayudarán a la distribución hacia decantadores, dicho canal tiene una longitud de 20m con una altura inicial de 1.5 m. y una altura final de 0.60 m; al ingreso del canal se tiene una compuerta cuadrada de 0.50 m (EPS 2000).

Se tienen cuatro unidades de decantación de tipo laminar y flujo ascendente. El agua es llevada por medio de tuberías de PVS con 8" de diámetro, cada una con perforaciones a lo largo de las mismas (OMS 2000). Al finalizar esta sección se tiene una zona de lodos constituida por tres tolvas ubicadas a lo largo de la longitud del decantador. Las descargas se efectúan por medio de un canal colector formado por una tubería de 16" de diámetro.

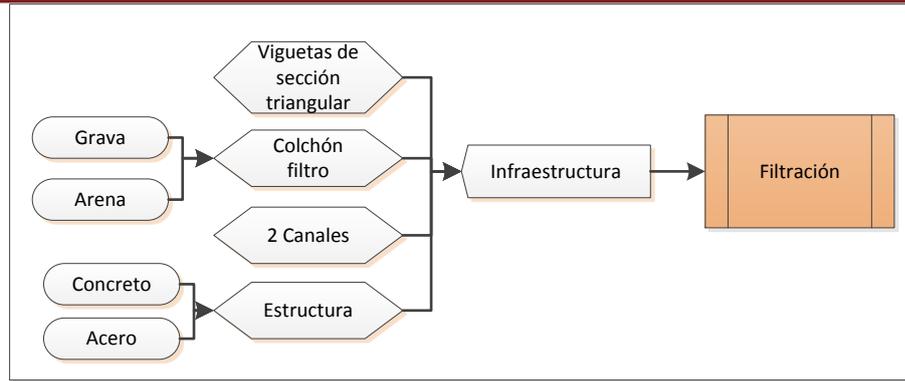


**Figura 4.8** Componentes de infraestructura en el proceso de Decantación

- FILTRACIÓN

Las unidades de filtración constan de una batería de seis filtros rápidos que son provistos por un canal de distribución de 1.50 m de ancho. El drenaje de estos filtros está conformado por viguetas pre-fabricadas de 3.783 m de largo con sección triangular, que poseen 50 orificios por vigueta. El medio filtrante está conformado por cinco capas de grava con un espesor total de 0.45m (tamaños entre 1/8" y 2" de diámetro) y una capa de arena con un espesor de 0.80m. El agua decantada es conducida a los filtros a través de un canal de distribución de 1.50 metros de ancho por 2.70 m de altura (EPS 2000).

Los filtros son de flujo descendente, el agua filtrada de cada unidad pasa a un canal de 0.80 m, el cual tiene un vertedero rectangular de 0.60 m de ancho, luego el agua filtrada pasa hacia un canal de 0.80 m de ancho, al final de dicho canal se tiene un vertedero rectangular que permite controlar el nivel de agua en cada filtro.

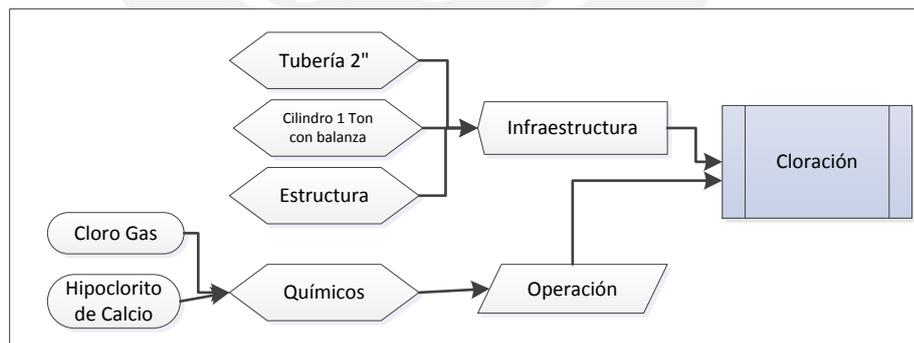


**Figura 4.9** Componentes de infraestructura en el proceso de Filtración

- **CÁMARA DE CONTACTO PARA DESINFECCIÓN**

La caseta de cloración está compuesta por los siguientes elementos: cilindro de una tonelada, balanza y cámara ventilada. La cámara de contacto sirve para desinfectar el agua filtrada por medio de la aplicación de un difusor de cloro al ingreso de la unidad. Este elemento tiene un ancho de 5.10 m de ancho, 24 m de largo y 2 m de altura.

Dicha cámara también cuenta con siete canales con un ancho de 0.60m, separados por muros de concreto. A la salida se tiene un vertedero rectangular por el que pasará el agua para luego ser descarga a una tubería de 24" de diámetro que conduce el agua tratada al reservorio.



**Figura 4.10** Componentes de infraestructura y operación en el proceso de Cloración

#### 4.3.2.2 POR INSUMOS ESPECÍFICOS

##### 1. Insumos Químicos

Es importante la caracterización de todos los químicos a usarse en el sistema debido a que para la producción de estos se utilizan una serie de procesos previos relacionados no solo a un alto consumo de electricidad sino también a otros productos como gas natural, amonio, metano o etileno como se menciona en el artículo de Alvarez-Gaitan (2013) respecto a los químicos utilizados en la industria del agua en Australia.

En el caso del sistema de la planta de Tratamiento Chen Chen se utilizan químicos como: sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, cloro líquido, cloro gas, polímero catiónico, hipoclorito de calcio, coagulante PAC, etc., en los procesos convencionales como floculación, coagulación, desinfección y filtración. Cada uno de ellos tiene detrás de sus respectivos procesos de elaboración una serie de insumos y procesos tomados en cuenta en la base de datos de Ecoinvent 3.1 que será la utilizada para nuestros cálculos.

Para el inventario se consideró las limitaciones antes planteadas, y sólo se tomarán en cuenta los químicos más relevantes para el sistema (Tabla 4-2). A continuación, se presenta dos químicos que a pesar de basarse en los datos de Ecoinvent 3.1 presentan modificaciones debido a la variación en su proceso de producción o en el transporte. No se incluye el cloruro férrico puesto que la composición que se observó el inventario de Ecoinvent se consideró adecuada para el estudio.

- PAC: Policloruro de Aluminio

Se considera los insumos calculados tanto por los estudios de INCOPA; la compañía que produce PAC en el Perú es Quimand, empresa peruana que fabrica el insumo y lo distribuye a la EPS. Moquegua. Los componentes participantes en la producción del PAC (INCOPA 2014) son: ácido hidróclórico, vapor, hidróxido de aluminio, transporte, electricidad, óxido de aluminio y aluminio líquido en estado primario. Estos componentes participantes si están basados enteramente en la base de datos de Ecoinvent 3.1.

- Cloración

Cloro gas (RoW), producto obtenido de la base de datos de Ecoinvent 3.1, como productos o procesos que forman parte de su producción toma en cuenta al

transporte que cuantifica la distancia desde el lugar de producción hasta el lugar de distribución, además asume que el cloro gas es llevado a cabo según la producción europea, en instalaciones con células de diafragma, en instalaciones con células de membrana e instalaciones con células de mercurio de acuerdo a las proporción de empresas en el mercado.

## 2. Uso eléctrico

Para la matriz energética del Perú para el año 2000, OSINERG (2008) considera que el Perú obtiene energía por medio de distintas fuentes tales como hidráulica (61%), gas natural (32%), diésel (1%), carbón (3%) y residual (3%). La bibliografía nos ofrece datos, más recientes y simplificados, como la matriz energética propuesta por Vázquez-Rowe et al. (2015) donde considera para el año 2011, que para el uso eléctrico de la planta de tratamiento, la producción de energía eléctrica proveniente tanto de gas natural (41%) como la procedente de una planta hidroeléctrica (56%).

**Tabla 4-2** Componentes utilizados en la etapa de operación, se muestra los componentes más representativos del sistema desde el año 2010 hasta el año 2014. Fuente: Basado en Reporte Interno SUNASS

		Componente	Cantidad	Unidades
2010	Químicos	PAC TOTAL	45358	kg
		FeCl3 TOTAL	23088	kg
		Cl. GAS TOTAL	7162	kg
	Electricidad	E.ELECT. TOTAL	249055	KWh
2011	Químicos	PAC TOTAL	56277	kg
		FeCl3 TOTAL	47638	kg
		Cl. GAS TOTAL	8066	kg
	Electricidad	E.ELECT. TOTAL	290385	KWh
2012	Químicos	PAC TOTAL	73076	kg
		FeCl3 TOTAL	31174	kg
		Cl. GAS TOTAL	8512	kg
	Electricidad	E.ELECT. TOTAL	306577	KWh
2013	Químicos	PAC TOTAL	49463	kg
		FeCl3 TOTAL	9847	kg
		Cl. GAS TOTAL	7441	kg
	Electricidad	E.ELECT. TOTAL	281017	KWh
2014	Químicos	PAC TOTAL	39076	kg
		FeCl3 TOTAL	19552	kg
		Cl. GAS TOTAL	9130	kg
	Electricidad	E.ELECT. TOTAL	372281	KWh

### 3. Otras infraestructuras

Se considera el concreto y el acero implicado en cada etapa. Los cálculos de estos datos fueron obtenidos de los planos con los que contaba la empresa, a partir de estos se realizó un metrado para el cálculo de materiales implicado por proceso.

Sin embargo, en el proceso denominado “otra infraestructura” se agruparon áreas como las de mantenimiento, reparación de medidores, la casa de química y la casa del operador, debido a la falta de un plano estructural de dichas estructuras sólo se consideró el concreto calculado en base a los planos de arquitectura.

Para integrar todos los procesos se crea un sistema compuesto por: cloración, dosificación, uso eléctrico, filtración, floculación, medición y mezcla rápida, otra infraestructura. Las cuatro últimas tendrán variaciones de acuerdo a los datos analizados; es decir, se considera que la planta de vida tiene un periodo de vida de 50 años, para el cálculo en un año se utilizará la infraestructura multiplicada por un factor de 1/50 y si fuera para un mes el factor sería 1/600. De esta manera aseguramos que a cada año se le asigne una carga ambiental adecuada producida por la infraestructura.

**Tabla 4-3** Componentes utilizados en la etapa de construcción, se muestra los componentes por cada etapa del sistema basados en el metrado de materiales de la planta de tratamiento de agua potable Moquegua.

	Componente	Cantidad	Unidades
Medición y mezcla	Concreto	1.502	m3
	Madera	0.006	m3
Floculación	Concreto	280.500	m3
	Madera	1765.120	kg
Decantación	Concreto	321.400	m3
	Acero	2242.240	kg
Filtración	Concreto	298.250	m3
	Acero	1884.400	kg
	Arena	30.840	m3
	Grava	86.750	m3

#### 4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA

La evaluación de impacto de ciclo de vida se encarga de evaluar los impactos potenciales al medio ambiente como efecto de procesos o productos desarrollados a partir de la interpretación de los datos obtenidos en el inventario de ciclo de vida. Este análisis puede “ayudarnos a entender mejor la conexión entre el producto o proceso y sus impactos ambientales potenciales” (Curran 2008, pp. 16).

Para realizar esta etapa se deben seguir tres lineamientos básicos, primero seleccionar y definir la categoría de impacto que tomen en cuenta los indicadores de cada categoría y el modelo de valoración, segundo, asignar los datos procesados en el inventario y tercero, realizar el cálculo de los diversos indicadores de cada categoría.

Esta evaluación está conformada por cuatro etapas clasificación, caracterización, normalización y ponderación; según el estándar ISO (2006a), sólo se precisa de las fases clasificación y caracterización.

En la fase de clasificación, se debe tomar en cuenta que algunas emisiones ambientales causan impactos en una categoría, sin embargo la mayoría de emisiones producen efectos en diversas categorías relacionadas a la contaminación y la disminución de elementos de la naturaleza. En esta etapa se identifican las categorías que se desean evaluar para el estudio, a partir de esto Finnveden et al. (2009, pp.9) añade que la clasificación “asigna las emisiones a partir del inventario para estas categorías de impacto de acuerdo a la capacidad de las sustancias para contribuir a diferentes problemas ambientales”.

Por otro lado, la fase de caracterización consiste en llevar todas las cargas ambientales, previamente clasificadas de acuerdo a sus impactos, son diversas sustancias estándares de manera que se tengan unidades comunes a todas las sustancias que contribuyen a una misma categoría de impacto (Finnveden et al. 2009).

La función principal de esta evaluación es encontrar la relación que tiene las categorías de impacto halladas y los potenciales impactos. Su variabilidad se debe principalmente a la necesidad de asumir datos aproximados y la toma de valores por defecto.

#### 4.4.1 SELECCIÓN DE CATEGORÍAS DE IMPACTO

Cada emisión ambiental tendrá una respuesta diferente que será llevada a cabo mediante diversos mecanismos. Para situar la respuesta en una categoría de impacto se puede hallar las consecuencias ambientales por el método llamado midpoint o hallar el daño final por el método denominado endpoint.

Debido a que las categorías ambientales se expresan en base a diversas áreas de protección como la salud humana, medio ambiente o recursos hechos por el hombre; Finnveden et al. (2009, pp. 8) señala que los indicadores endpoint están definidos en el nivel de las áreas de protección mientras que los indicadores midpoint indican los impactos entre las emisiones y las áreas de protección. Según Bare esta diferencia implica que el análisis midpoint otorga una mayor certidumbre mientras que con el análisis mediante endpoint se llega a “conocer las cosas con mayor relevancia” (Bare et al. 2000).

Los métodos de punto medio considerados por Pré-consultants (2013) son por ejemplo: CML, EDIP 2003, ReCiPe Midpoint y TRACI. Por otro lado algunos métodos de punto final considerados por Pré-consultants (2013) que considera son: EPS 2000, ReCiPe Endpoint, IMPACT 2002+, entre otros.

El método ReCiPe busca ayudar a la interpretación de resultados de un inventario de ciclo de vida. En primer lugar, pretende transformar todos los datos del ICV en un determinado número de puntuaciones. El enfoque midpoint también conocido como “enfoque orientado a los problemas” (Dreyer et al. 2003) o “método clásico de evaluación de impacto” (Jolliet et al. 2004), consiste en indicadores tales como disminución de capa de ozono, radiación ionizante, eutrofización, etc. que se encuentran entre los resultados del Inventario de Ciclo de Vida y los indicadores del endpoint.

Se escogió MidPoint debido a que un modelo Endpoint presenta mayores niveles de variabilidad, esto se debe a que mientras se realicen más cálculos para pasar de un ICV al conocimiento de impactos al medio ambiente es más difícil tener un alto grado de certidumbre dado que se deben hacer muchas suposiciones (Bare et al. 2000). Sin embargo, una dificultad con la que se debe tratar al usar MidPoint es que la interpretación de resultados puede tornarse más difícil, debido a conceptos más abstractos con los que se debe lidiar al comunicar los resultados a los actores interesados dentro de una compañía (Bare et al. 2000).

En el presente estudio para realizar la interpretación de los datos, primero se utilizará la metodología ReCiPe (H) para evaluar los impactos ambientales. ReCiPe presenta tres perspectivas culturales, que ayudan a orientar la investigación en un marco de tiempo y de acuerdo a determinadas expectativas del futuro (Goedkoop et al. 2009). A continuación se presenta una breve descripción de las tres perspectivas que propone ReCiPe para evaluar los resultados.

- ❖ Individualista (I), orientada al corto plazo desde una perspectiva optimista. El tiempo considerado son 20 años (Goedkoop et al. 2009). Esta perspectiva considera que los daños del presente deben ser manejados por la sociedad actual; sin embargo, los daños del futuro deben ser manejados con ingenio por las generaciones futuras (Gunderson et al. 2002).
- ❖ Jerárquica (H por su nombre en inglés Hierarchist), basada en un periodo de tiempo variable y en base a la normativa usual. El tiempo en el que se basa por lo general es 100 años (Goedkoop et al. 2009). Esta perspectiva pondera las preocupaciones futuras con las preocupaciones presentes, se apoya de los análisis para realizar un balance entre ambos intereses (Gunderson et al. 2002).
- ❖ Igualitaria (E, por su nombre en inglés Egalitarian), dirigida a un periodo de tiempo largo con impactos establecidos que marcan una ruta parcial conservadora. El marco de tiempo usado es por lo general 500 años (Goedkoop et al. 2009). Esta perspectiva se preocupa de la equidad e igualdad para disfrutar de los bienes tanto en el presente como en el futuro.

Las mencionadas perspectivas se encargan de evaluar los impactos de acuerdo a la perspectiva que el investigador requiera asumir, en esta investigación se utiliza ReCiPe Hierarchist puesto que se busca evaluar resultados frente a un panorama intermedio.

Frente a este panorama, se puede proceder a evaluar los impactos o mecanismos ambientales pues tienen a su vez factores intrínsecos que les otorgan relevancia en determinados ámbitos del ecosistema.

Las categorías de impacto que se encuentran al nivel de midpoint (punto medio) en el método ReCiPe son 18 y son cambio climático (CC), disminución de ozono (OD), acidificación terrestre (TA), eutrofización del agua dulce (FE), eutrofización marina (ME), toxicidad humana (HT), formación de oxidantes fotoquímicos (POF), formación de materia particulada (PMF), ecotoxicidad terrestre (TET), ecotoxicidad de agua dulce (FETE), ecotoxicidad marina (MET), radiación ionizante (IR),

ocupación de tierra agrícola (ALO), ocupación de tierra urbana (ULO), transformación del terreno natural (NLT), disminución de agua (WD), agotamiento del recurso mineral (MRD) y disminución de recursos fósiles (FD).

Los mecanismos ambientales tiene un factor de caracterización que será descrito brevemente a continuación (Pré Consultants 2014, Goedkoop et al. 2009).

**Tabla 4-4** Categorías de impacto, indicadores y unidades. Basado en Tabla 2.1 y 2.9. De Goedkoop et al. 2009.

CATEGORÍA DE IMPACTO	Abreviatura	Unidad - Datos de entrada	Unidad - Datos de Salida
Cambio Climático	CC	W* yr/m <sup>2</sup>	kg (CO <sub>2</sub> al aire)
Disminución de ozono	OD	ppt * yr	kg (CFC-11 al aire)
Acidificación terrestre	TA	yr * m <sup>2</sup>	kg (SO <sub>2</sub> al aire)
Eutrofización del agua dulce	FE	yr * kg / m <sup>3</sup>	kg (P al agua dulce)
Eutrofización marina	ME	yr * kg / m <sup>3</sup>	kg (N al agua dulce)
Toxicidad humana	HT	-	kg (14DCB al aire urbano)
Formación de oxidantes fotoquímicos	POF	kg	kg (NMVOC al aire urbano)
Formación de materia particulada	PMF	kg	kg (PM <sub>10</sub> al aire)
Ecotoxicidad terrestre	TET	m <sup>2</sup> * yr	kg (1,4 -DCB al suelo)
Ecotoxicidad del agua dulce	FETE	m <sup>2</sup> * yr	kg (1,4 -DCB al agua dulce)
Ecotoxicidad marina	MET	m <sup>2</sup> * yr	kg (1,4 -DCB al agua de mar)
Radiación ionizante	IR	man*Sv	kg (U235 al aire)
Ocupación de tierra agrícola	ALO	m <sup>2</sup> * yr	m <sup>2</sup> * yr (terreno agrícola)
Ocupación de tierra urbana	ULO	m <sup>2</sup> * yr	m <sup>2</sup> * yr (terreno urbano)
Transformación del terreno natural	NLT	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> (terreno natural)
Disminución de agua	WD	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> (agua)
Agotamiento del recurso mineral	MRD	kg <sup>-1</sup>	kg (Fe)
Disminución de recursos fósiles	FD	MJ	kg (Oil)

Cada categoría de impacto fue realizada en base a variados estudios, y compilada por diversas entidades y programas. A continuación se explica brevemente el significado de cada categoría de impacto y la forma en que se calculó.

La disminución de ozono es el decrecimiento de la cantidad de ozono estratosférico y se debe en condiciones naturales varían de acuerdo al clima, estación, por cambios en la temperatura o vientos en la estratósfera, acción de la luz solar o como por las reacciones químicas en la estratósfera, dichas reacciones se ven modificadas de manera negativa por emisiones de origen antropogénico y tienen como resultado la disminución del ozono estratosférico (ODS) (World Meteorological Organization 2011). Toma en cuenta a las sustancias que contienen átomos de cloro y bromo, entre ellas se encuentran los clorofluorocarbonos (CFCs), hidrofluorocarbonos (HCFCs), halones (clorofluorocarbonos combinados con bromo), etc. La unidad es CFC-11 equivalente (Goedkoop et al. 2009).

Otro impacto, la toxicidad humana se refiere a la persistencia en el tiempo de un elemento, acumulación en cadena humana alimenticia, y la posibilidad de generar efectos secundarios en la salud humana. La unidad que utiliza es 1,4-Diclorobenzeno (14DCB) (Goedkoop et al. 2009).

Por otro lado la radiación ionizante toma en cuenta el nivel de exposición a radiación ionizante, es muy relevante en los análisis de salud humana, proviene por lo general de actividades como minería, fabricación de combustibles, producción de electricidad, etc. La unidad es el Uranio 235 equivalente y se toma en cuenta un periodo de tiempo de 100 000 años para una evaluación típica (Goedkoop et al. 2009).

La formación de oxidantes fotoquímicos es la variación marginal de una concentración de ozono. La unidad es NMVOC. Por otro lado, la formación de materia particulada: tiene como factor a la fracción utilizada de PM10. La unidad es el PM10 equivalente (Goedkoop et al. 2009).

En el caso del cambio climático se asume los efectos marginales de agregar una cantidad de CO<sub>2</sub> u otros gases de efecto invernadero, y no todos los impactos de las emisiones. El método utiliza los kg de CO<sub>2</sub> equivalentes de acuerdo al reporte de la IPCC 2007 (Goedkoop et al. 2009). El factor utilizado es el potencial de calentamiento global y depende del tiempo de vida considerado, para el caso analizado "H" se considera 100 años (Pré Consultants 2014). Los impactos de cambio climático se deben principalmente a los consumos de electricidad, en especial depende de la matriz energética de cada país (Loubet et al. 2014).

La ocupación de tierra agrícola y urbana es la cantidad de tierra ocupada por un cierto tiempo, el problema se agrava cuando además de la ocupación se produce

también la transformación del uso de la tierra. Para Finnveden et al. (2009) la ocupación y transformación de la tierra implican actividades como agricultura, minería y transporte. A su vez en el mismo artículo (Finnveden et al. 2009) menciona que esta pérdida de terreno implica impactos en el medio ambiente, recursos naturales, ambientes hechos por el hombre y la salud humana de manera indirecta.

Dos componentes están vinculados al uso de agua y su calidad, la eutrofización y la ecotoxicidad. Estos componentes están relacionados con los mayores impactos directos generados por los sistemas de agua urbanos (Loubet et al. 2014).

El primer componente, la eutrofización marina y eutrofización de agua dulce se debe al enriquecimiento de nutrientes en el medio acuático, una gran parte es resultado de actividades realizadas por el hombre. Las consecuencias de la acumulación de nutrientes son el crecimiento de algunas plantas, lo que ocasiona una disminución de los niveles de oxígeno en el medio. Curran 2008, señala que los futuros efectos podrían incluir la generación de componentes químicos en cantidades elevadas que resultarían tóxicas para los humanos o animales que viven en dichos medios acuáticos.

El segundo componente, la ecotoxicidad terrestre y acuática refleja la contribución de sustancias que afectan la salud humana, la flora y fauna en diferentes ambientes. Las sustancias que ocasionan este efecto son los metales pesados, los contaminantes orgánicos persistentes y los componentes orgánicos volátiles (Goedkoop et al. 2009).

Por otro lado, la disminución de recursos fósiles representa la cantidad de combustible fósil extraído, basado en el valor más bajo de calor. La unidad es el kg de aceite equivalente. Mientras que el agotamiento de minerales es el decrecimiento gradual de la disponibilidad de minerales. La unidad utilizada es el Hierro equivalente (Goedkoop et al. 2009).

La acidificación terrestre se explica por el uso de sustancias inorgánicas como sulfatos, nitratos y fosfatos y cómo estos son depositadas en los suelos y se produce un cambio en el nivel de pH del suelo. Se produce por las emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_2$  que en contacto con el agua producen ácido sulfúrico (Goedkoop et al. 2009). Cuando estas sustancias están presentes generan degradación en las tierras de cultivo, por lo tanto daño a plantas, animales; además, daña otros

elementos como edificios y estructuras. La unidad utilizada se mide en moles de H<sup>+</sup> equivalentes por kilogramo de emisiones (Curran 2008).

Finalmente, uno de los impactos más relevantes es la disminución de agua fresca pues representa una amenaza para los ecosistemas y en especial para el hombre. El factor utilizado es la cantidad de consumo de agua fresca total, y está relacionada tanto al agua consumida como al agua que se pierde en los procesos. Algunos autores como Finnveden et al. (2009) ponen en evidencia la relevancia de incluir como entrada el uso del agua, esto debido a la mayor demanda producto del crecimiento económico y demográfico, y porque es importante que los estudios de ACV muestren no solo las cantidades de agua que se consumen, sino las cantidades de agua que se devuelven al ecosistema, además de indicar las condiciones químicas en la que el líquido elemento es devuelto.

#### **4.4.2 SOFTWARE DE PROCESAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS**

SimaPro 8, es uno de los programas más usados para el análisis de ciclo de vida que además sigue los procesos de estandarización emitidos por ISO (Pré Consultants 2013). Este software utiliza diversos métodos de evaluación como evaluación de punto final (endpoint) y medio punto (midpoint), que ayudan a determinar los impactos ambientales que requieren tanto procesos unitarios como sistemas de procesos (Pré Consultants 2013).

Las bases de datos en las que se apoya según Pré-consultants (2014) son: Ecoinvent 3.1, agri-footprint, European reference Life Cycle Database (ELCD), U.S. Life Cycle Inventory Database (USLCI), etc. Esta plataforma permite tener datos aceptados mundialmente, tanto respecto a mediciones como a cálculos, y tiene la posibilidad de replicarse en otros estudios puesto que es posible su acceso desde los más de 80 países en los que se encuentra.

Como se describe en Pré-consultants (2014), SimaPro otorga una herramienta profesional para la colección, análisis y monitoreo de la sostenibilidad de productos y servicios. A su vez puede modelar y analizar ACVs completos de manera sistemática y transparente, es decir, se puede observar los impactos del servicio analizado por etapas.

#### 4.5 UNA APROXIMACIÓN CUALITATIVA, LA ENTREVISTA

Además de buscar el logro del objetivo general que consiste en hallar los impactos positivos y/o negativos producto del agua es necesario comunicar a la empresa sobre beneficios que se obtienen. También será necesario realizar un estudio cualitativo ya que los estudios cuantitativos no resultarán en un gran impacto si es que los usuarios del agua no perciben de la misma manera los resultados obtenidos.

Muchas veces los usuarios desconocen que la empresa se ha posicionado por varios años como una de las mejores empresas medianas de saneamiento en el Perú, y no solo debido a la cobertura sino también a la calidad de agua que se proporciona a la ciudad de Moquegua. Este desconocimiento genera desconfianza y un terreno nada deseable en el que sembrar futura información sobre beneficios ambientales.

Debido a los motivos antes mencionados, creo que es necesario incluir un capítulo que se oriente al aspecto cualitativo a modo de informar al personal administrativo no solo los beneficios de disminuir las cargas ambientales en el sistema sino también tener una pequeña perspectiva sobre la situación actual a la que se enfrentan con la población y los datos que deben emitir previamente para una mejor comprensión de los resultados medio ambientales.

En el caso de la presente investigación se busca seleccionar casos específicos a estudiar con el fin de mejorar los conceptos ya obtenidos mediante la investigación cuantitativa desarrollada previamente. Por ello se utilizará un instrumento para la investigación cualitativa denominado entrevista.

El tipo de entrevista cualitativa a realizarse será una entrevista semiestructurada que por lo general se aplica en personas con poco tiempo para contestar a todas las preguntas pero que sin embargo, requiere una pauta que será dada por el entrevistador (Tarrés et al. 2013).

Para realizar una inducción analítica se realizará una breve descripción de los datos que se busca, para luego realizar un análisis de datos en los que se identifican conceptos y proposiciones ajustándolos al contexto en el que fueron recolectados, posteriormente con los datos obtenidos realizar una conclusión que permita asociar las ideas principales obtenidas del conocimiento de la población con la información que se considera relevante para la investigación (Taylor et al. 1986).

La entrevista realizada se dirige a los usuarios domiciliarios del agua y de manera indirecta al conocimiento del uso del agua en su trabajo; por otro lado se busca conocer la preocupación que tiene la gente respecto a la calidad de agua y cómo ve satisfechas o insatisfechas sus necesidades. Finalmente, se busca conocer la apreciación que los usuarios tienen sobre quiénes tiene los poderes reales sobre el agua.

La primera hipótesis, respecto a la percepción del agua de las personas, espera que todos comprendan el uso del agua, por lo general las personas aprecian los beneficios directos como limpieza, higiene, bebida, etc. pero existe poco conocimiento respecto a otros beneficios indirectos como la agricultura y su relación con los alimentos, el riego de parques y jardines, la construcción o la generación de energía.

La segunda hipótesis, es que se tiene una elevada valoración del agua, por lo que en un futuro se podría concientizar más fácilmente a la población para que pueda contribuir con un mayor precio por su consumo.

La tercera hipótesis, es que las personas se sienten “satisfechas” con la calidad de agua actual o en general no perciben una diferencia entre el agua del pasado y la del presente.

Estos supuestos serán verificados en base a una muestra de 15 personas, tomando en cuenta lo sugerido por Katz (1983) que menciona que uno debe buscar comprobar su hipótesis hasta encontrar caso negativos que me permitan redefinir el fenómeno o hasta que se ha puesto a prueba adecuadamente la hipótesis.

Basándonos en la información de satisfacción brindada por los Indicadores 2013 de la SUNASS (2014a) de cada 1000 conexiones 156.07 usuarios reportan un reclamo y el nivel de satisfacción del cliente es de 62%, resultados que nos indican que existe un claro descontento en la población identificada, por lo que se esperan que estas 15 personas coincidan con esta proporción y den respaldo a la información.

## 5. RESULTADOS

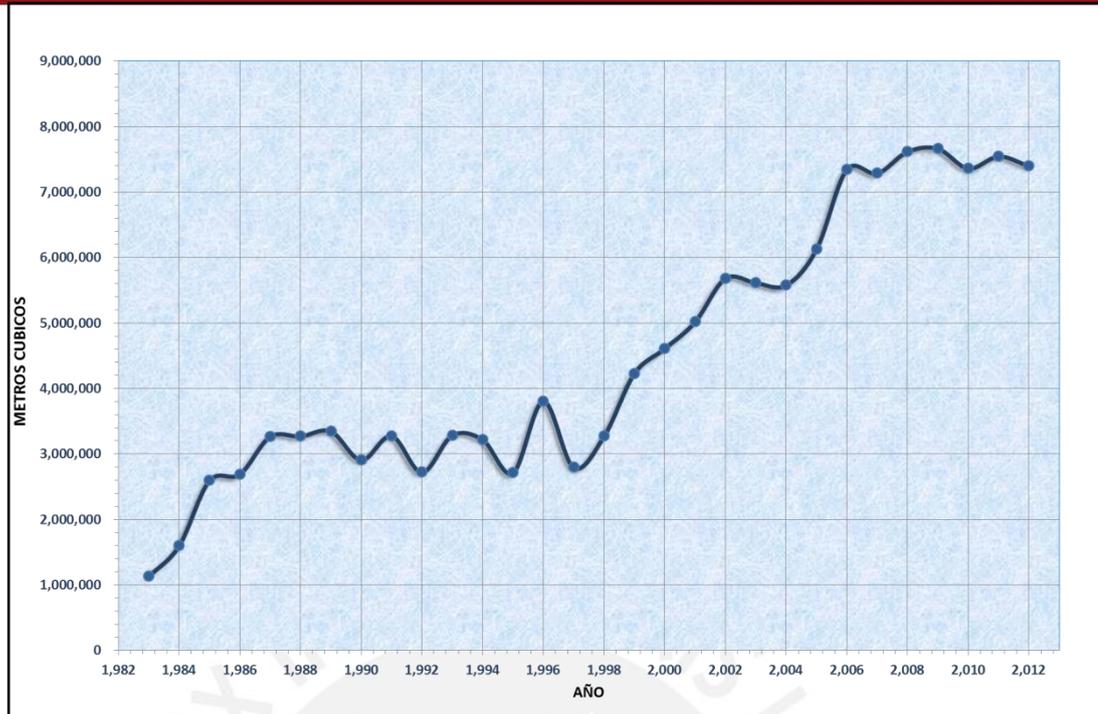
En este capítulo se analizarán los resultados y se explicarán algunas limitaciones. En este acápite se presentan algunas tendencias anuales que ayudarán a entender mejor el uso de químicos, electricidad y producción de agua; también se presentarán los resultados de impacto por categoría y su respectivo análisis sobre los componentes con mayor contribución.

Por otro lado, el capítulo también incluye los resultados de las entrevistas realizadas para el componente cualitativo. En dicho capítulo se exponen las perspectivas recopiladas de ciudadanos residentes en la ciudad de Moquegua y la visión con respecto a temas como calidad de agua y situación actual del agua en dicha ciudad.

### 5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS A COMPARAR

La EPS Moquegua es clasificada por la SUNASS como una empresa de mediano tamaño y tiene un total de 20225 acreedores. Según los datos obtenidos para el año 2013 la empresa logró un porcentaje de cobertura de 98.91% en los servicios de agua potable (SUNASS 2014 c).

Veamos a continuación un cuadro de la evolución de la producción de agua potable en la EPS Moquegua. A partir del año 2006 aproximadamente se observa una tendencia estable del aumento de distribución de m<sup>3</sup>, esto se debe a que a partir del año 2007 se inició la implementación del Sistema de Gestión de Calidad ISO.



**Figura 5.1** Volúmenes de producción de agua (m³) entre los años 1982 y 2012

Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno

En la búsqueda de mejorar la eficiencia de todo el proceso, de manera que los riesgos por falla y reparaciones sean menores, se inició una serie de modificaciones, que a su vez precisan de análisis detallados por cada etapa del sistema. Este nivel de detalle facilita el hallazgo de puntos débiles para proceder a su mejora.

Un aspecto de mejora consiste en la metodología de micromedición para la disminución de pérdidas, como se observa en la tabla 5-1 la cobertura de agua potable aumentó, mientras el volumen unitario producido disminuyó. Estos valores nos ayudan a determinar que existe una correlación entre la optimización implementada para la disminución de pérdidas con respecto a la producción total.

**Tabla 5-1** Características de abastecimiento y control de agua potable. Fuente: Adaptado de SUNASS 2013

Características	Datos Anuales		
	2011	2012	2013
Micromedición (%)	20.04	24.53	28.09
Cobertura Agua Potable (%)	95.56	97.61	98.91
Volumen producido unitario (Lphd)	445.88	418.19	391.21

Se debe tener en cuenta que la SUNASS toma como referente para el cálculo de eficiencia la micromedición, que es uno de los factores que colaboran para reducir el porcentaje de agua no facturada; sin embargo, otros factores a ser tomados en cuenta son el control de pérdidas y fugas en las redes de distribución, así como la macromedición, la presión y la continuidad.

Para caracterizar mejor la calidad de agua se toman indicadores de calidad que considera las SUNASS como se observa en la Tabla 5-2

**Tabla 5-2** Indicadores de calidad de agua. Fuente: Adaptado de SUNASS 2013

Calidad de agua	Datos anuales		
	2011	2012	2013
Indicadores			
Presencia de cloro residual con más de 0.5 mg/L de cloro residual libre (%)	99.86	98.89	99.93
Turbiedad en muestras > 5NTU (%)	100	99.45	99.44
Continuidad promedio en horas/día	20.9	21.5	22.4
Presión en metros por columna de agua (mca)	31.2	29.1	31.1

Un indicador que pertenece al rubro eco eficiencia (Tabla 5-3) es el de gasto de energía por volumen producido en miles de m<sup>3</sup>.

**Tabla 5-3** Ecoeficiencia en base a costo de energía / volumen producido. Fuente: Adaptado de SUNASS 2013

	2011	2012	2013	2014
Costo de energía / Volumen producido (%)	59.2	73.2	Sin Información	62.0

Para el año 2013 después de haber aplicado las mejoras por una serie continua de años se observó los resultados en la publicación del Benchmarking Regulatorio de la EPS publicada por la SUNASS (2014c). Dicha publicación los posiciona como la mejor empresa prestadora de tamaño medio (Tabla 5-4). Es claro que si se pueden implementar las medidas para disminución de pérdidas en otras EPS del mismo tamaño se podrán obtener excelentes resultados tanto en el ámbito económico como ambiental.

En el caso de la investigación realizada en la ciudad mediana de Moquegua, el potencial de mejora será el impacto ambiental causado por un sistema que no tiene capacidad para manejar sus pérdidas en la fase de distribución y el impacto calculado para el sistema implementado hace 5 años que comprende mejoras en los procesos micromedición y mantenimiento correctivo.

En base a lo propuesto por Herstein et al. (2009), en el que plantea dos enfoques para entender los conceptos de enfoque nuevo y tradicional en un sistema de distribución, se puede verificar si las medidas que la empresa desarrolla en la actualidad corresponden a un enfoque moderno.

El enfoque tradicional para la optimización de los sistemas de distribución de agua comprende mínima presión, reducir el costo de tubería bombas y tanques, requerimientos de máxima velocidad, unión de minimización de costos con requerimientos hidráulicos de calidad (Herstein et al. 2009). El enfoque nuevo, que implica reducir impacto ambiental, puede ayudar a optimizar sistemas de distribución de agua.

A pesar de que Herstein et al. (2009) sugiere el análisis de impactos en el sistema de distribución para optimizar su desempeño, podemos aplicar dicho enfoque moderno al tratamiento de aguas, pues este debe compatibilizar los requerimientos de calidad hidráulica y calidad de agua para lograr la mejor eficiencia con el menor impacto.

**Tabla 5-4** Ranking de Empresas Prestadoras de Servicios Medianas. Fuente: Adaptado de SUNASS (2013)

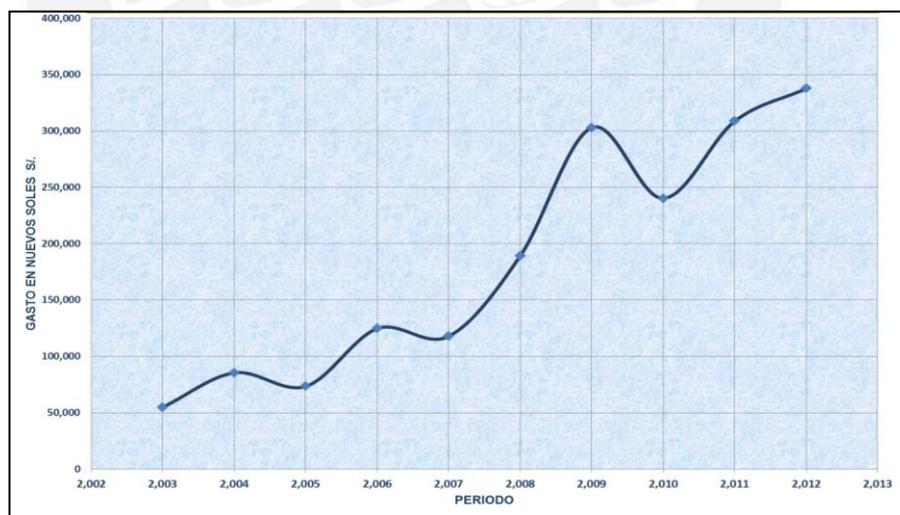
EPS Medianas (Más de 15 000 hasta 40 000 conexiones de agua potable)						
Empresa Prestadora	Cobertura de agua potable (%)	Continuidad (horas/día)	Micromedición (%)	Costo de energía (S/. / 1000 m <sup>3</sup> )	Puntaje referencial	Calificación 2013
EPS MOQUEGUA SA	98.91	22.42	28.09	17.23	74.03	B+
EPS ILO SA	99.54	12.72	89.07	65.64	73.03	B+
SEDACAJ SA	84.48	16.38	81.56	12.13	60.46	B-
EPS CHAVIN SA	89.79	23.06	75.02	8.00	55.99	C+
EPS MARAÑÓN SRL	63.29	2.60	82.13	0.41	55.83	C+
EMAPISCO SA	99.75	17.22	4.55	20.79	54.04	C+
EMAPA HUARAL SA	79.53	20.00	36.54	28.20	53.70	C+
EPS MANTARO SA	89.37	19.30	20.31	4.94	52.90	C+
EMAPAT SRL	99.03	24.00	94.06	163.49	52.75	C+
EMAPA SAN MARTIN SA	96.24	10.93	77.04	13.37	52.55	C+
EMAPA HUACHO SA	94.47	15.34	68.38	91.18	51.68	C+
SEMAPA BARRANCA SA	83.39	15.21	8.44	15.20	48.74	C-
EMAPA CAÑETE SA	72.15	16.41	13.91	48.42	54.83	C-
EMAPACOP SA	61.25	15.91	-	48.97	40.03	C-
EPS SELVA CENTRAL	71.32	18.40	27.93	-	39.48	D+

## 5.2 EVALUACIÓN DE COMPONENTES

Con el fin de mejorar este aspecto ambiental se procedió a elaborar un ACV dividido en dos fases, construcción y operación. La fase de construcción contribuye en menor medida debido a que la cantidad de materiales en la construcción es de menor cuantía y el tiempo de vida de la estructura es 50 años. Por otro lado, la fase de operación presenta un mayor impacto debido a los componentes químicos que implica cada etapa.

Debido a la limitación en las fuentes de datos no se cuenta con un historial completo de los químicos de proporciones menores que fueron utilizados durante el periodo de estudio. El análisis de los químicos considerados más importantes en el proceso acorde a la cantidad vertida en la red, y debido a la limitación expuesta, serán Cloro gas, cloruro de hierro y coagulante PAC.

En la Figura 5.2 se observa que es vital considerar los mencionados aditivos no sólo por su relevancia ambiental sino también por su peso en el factor económico. El crecimiento no es lineal debido a factores como el crecimiento poblacional, la creciente contaminación en las fuentes de agua y los cambios en los operadores de planta.



**Figura 5.2** Gasto histórico de insumos químicos (2003 -2012)

Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno

Durante el periodo 2010 – 2014 se reportaron gastos de químicos y energía por metro cúbico de agua, en la tabla se observa que las cantidades se mantienen más o menos constantes. Valores como la electricidad total pueden ser validados por medio de la revisión de la literatura en la que por ejemplo Vince et al. (2007) señala

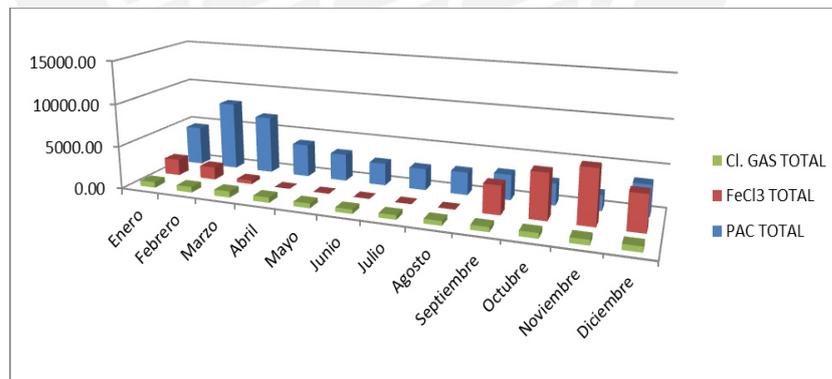
que valores de energía usuales para una planta de tratamiento convencional se encuentran entre 0.05 kw-h/m<sup>3</sup> y 0.15 kw-h/m<sup>3</sup>.

**Tabla 5-5** Consumo de químicos y electricidad por m<sup>3</sup> de agua

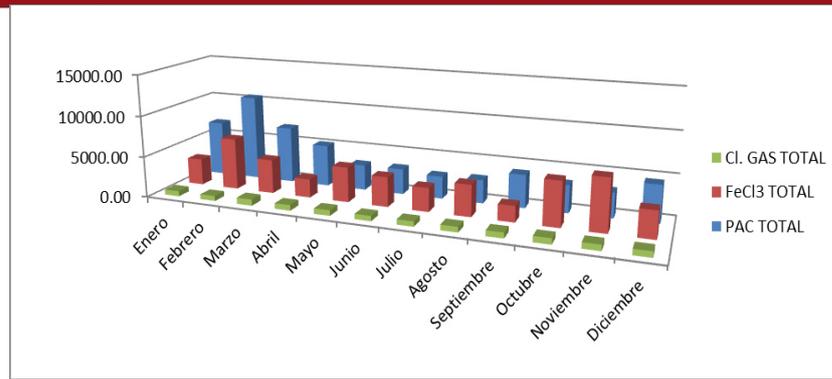
	2010	2011	2012	2013	2014	
PAC TOTAL	8.88E-03	9.72E-03	1.28E-02	1.12E-02	6.96E-03	kg/m <sup>3</sup>
FeCl <sub>3</sub> TOTAL	4.52E-03	8.23E-03	5.46E-03	2.23E-03	3.48E-03	kg/m <sup>3</sup>
Cl. GAS TOTAL	1.40E-03	1.39E-03	1.49E-03	1.68E-03	1.63E-03	kg/m <sup>3</sup>
E.ELECT. TOTAL	4.88E-02	5.02E-02	5.37E-02	6.35E-02	6.63E-02	Kw-hr/m <sup>3</sup>

A continuación (Figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8) se muestra la evolución del consumo tanto en lo que respecta a gastos químicos como energéticos. La finalidad de estas figuras es revisar los procesos que han seguido estos componentes a lo largo del tiempo con el fin de determinar su relevancia actual y cuál es la tendencia seguida.

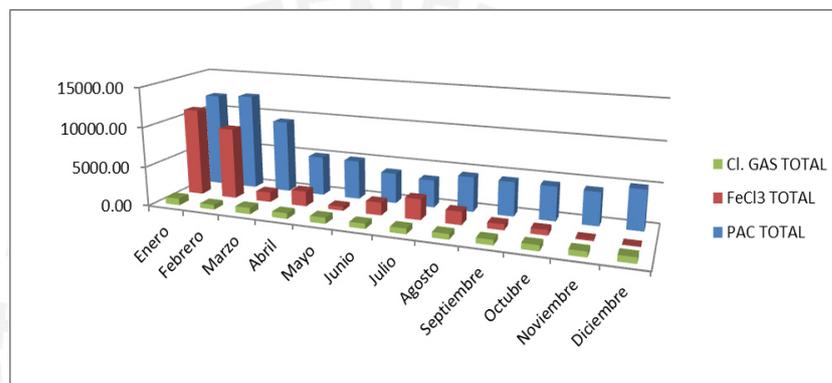
Como se observa, el año 2014 se disminuyó en la utilización de PAC respecto a otros años; sin embargo, se reportó un aumento de cloruro férrico debido al aumento en la concentración de metales en el agua proveniente del río. El cloro gas mantuvo su producción en niveles bajos, por lo que es posible asumir un año cualquier para el cálculo de impactos.



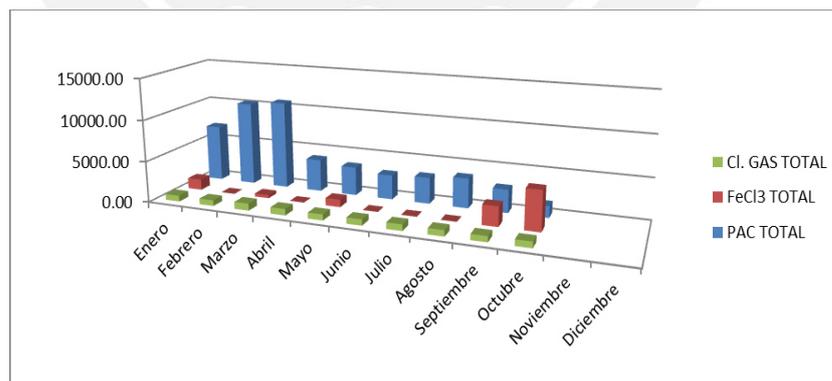
**Figura 5.3** Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2010. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno



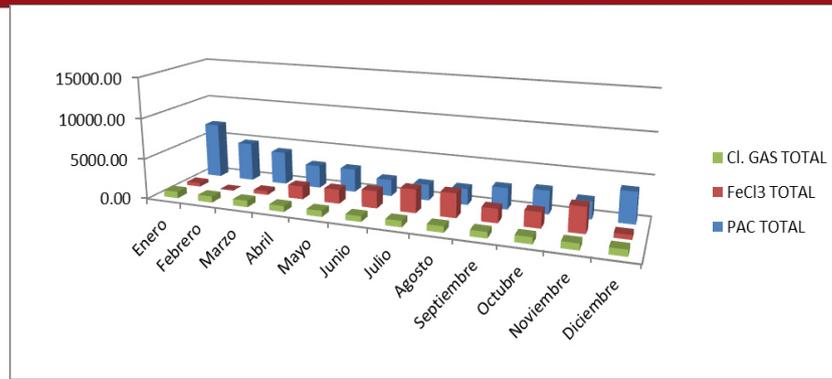
**Figura 5.4** Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2011. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno



**Figura 5.5** Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2012. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno



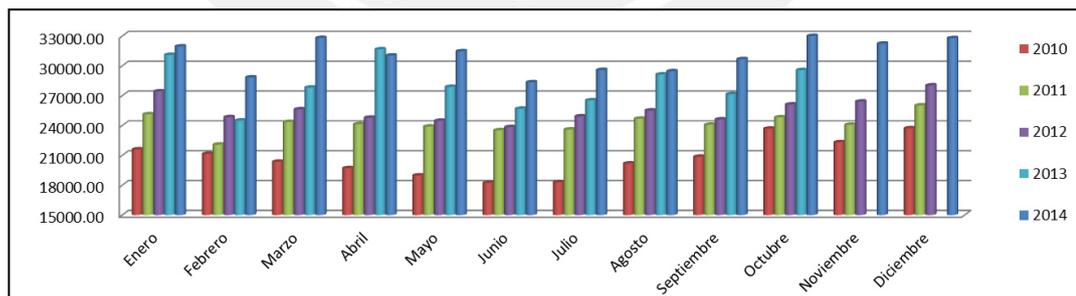
**Figura 5.6** Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2013. Datos de noviembre y diciembre no disponibles. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno



**Figura 5.7** Cantidades mensuales de cloro gas (Cl gas), cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) y policloruro de aluminio (PAC) en kg, utilizados en el año 2014. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno

El uso de energía eléctrica se incrementó a partir del año 2011 como se muestra en la figura 5.8. Además, el 2013 al integrarse un nuevo sistema de bombeo el consumo de energía aumentó considerablemente.

La energía eléctrica por lo general representa un gran porcentaje del impacto total para los sistemas de tratamiento de agua; sin embargo, la planta convencional analizada posee bombas con una potencia relativamente baja, esto en comparación a estudios desarrollados en otros países que deben extraer agua del subsuelo y que además usan costosos procesos de tratamiento como la desalinización, o que deben bombear agua desde lugares muy lejanos. Otros gastos provienen de la cámara de cloración, el alumbrado de la planta y el uso de energía en las oficinas y laboratorio de la empresa.



**Figura 5.8** Consumo histórico de electricidad desde el año 2010 hasta el año 2014. Fuente: Adaptado de EPS Moquegua, Reporte Interno

### 5.3 EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA

Las alternativas sostenibles para el manejo de agua en Barcelona (Afgan et al., 2007), nos enseña que es posible tener una “Cultura del Agua” y que proveer un suministro de agua se toma en cuenta cinco criterios: capacidad, garantía, costo monetario por unidad de agua obtenida y calidad del agua e impacto ambiental. En el caso de la región Moquegua se realizan esfuerzos por mejorar en casi todos los ámbitos sugeridos para una “Cultura del Agua”; sin embargo, no se toma en cuenta el impacto ambiental que dicho sistema pueda producir.

En esta sección se conocerá más a fondo el método de evaluación utilizado y el proceso seguido para el cálculo de resultados, estos resultados dependerán del inventario utilizado y se clasificarán de acuerdo a las categorías de impacto que sugiere el método ReCiPe Midpoint (H). Una vez ingresadas las entradas preliminares, se analizará sin considerar procesos de infraestructura mediante el método ReCiPe Midpoint (H), en el cual sólo se incluyeron los químicos, el transporte y la energía en general.

Con los datos ordenados, se procede a la caracterización que consiste en asignar resultados a una categoría de impacto, la unidad de cada impacto es diferente y por eso se realiza evaluaciones respecto a grupos de una misma categoría. Por estos motivos la caracterización se visualiza mejor en porcentajes por cada categoría.

#### **CARACTERIZACIÓN**

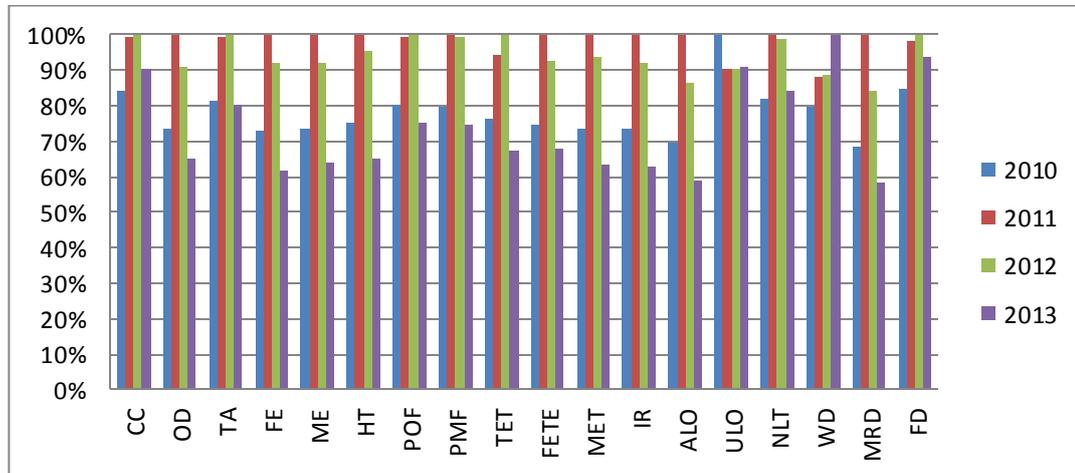
Para la caracterización del sistema se procedió a realizar cálculos generales para el sistema, dado que la data más reciente pertenece al año 2014 se realizó un análisis más detallado para ese año.

Una vez obtenidos los resultados de cada etapa para el año 2014 se advirtió que una etapa era la que producía mayores cargas ambientales al sistema, por lo que se hizo un análisis minucioso para dicha fase.

La potabilizadora a lo largo de los 5 años, tomados como referencia para este estudio, tuvo diversos impactos. Al no tener la información del 2013 completa, se optó por realizar un análisis de los años que tienen la documentación completa.

De la Figura 5.9 se desprende que los años 2011 y 2012 fueron los que causaron mayor impacto en casi todas las categorías, por otro lado el año 2014 obtuvo una calificación positiva en comparación a los demás años. Estos resultados eran

esperados debido a que al revisar las observaciones previas sobre el consumo de gastos químicos, se reportó que el 2011 y el 2012 fueron los años en los que se utilizó una mayor cantidad de PAC y  $\text{FeCl}_3$ .



**Figura 5.9** Caracterización porcentual de la potabilizadora para un periodo de cuatro años en base a 18 categorías de impacto.

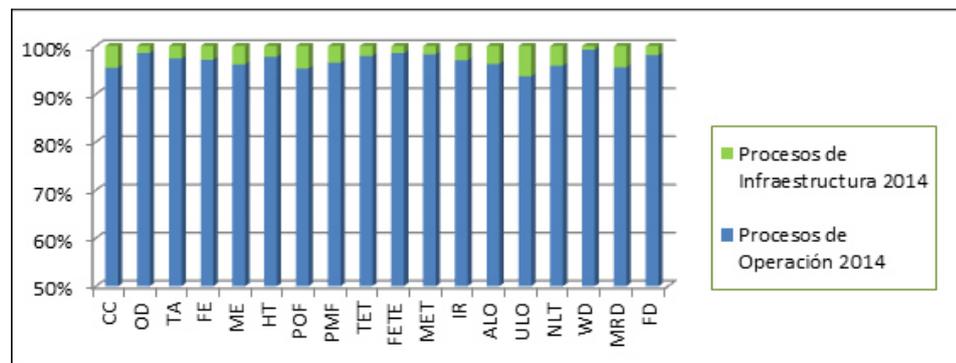
[CC: Cambio Climático, OD: Disminución de Ozono, TA: Acidificación Terrestre, FE: Eutrofización del Agua Dulce, ME: Eutrofización Marina, HT: Toxicidad Humana, POF: Formación de Oxidantes Fotoquímicos, PMF: Formación de Materia Particulada, TET: Exotoxicidad Terrestre, FETE: Ecotoxicidad de Agua Dulce, MET: Ecotoxicidad Marina, IR: Radiación Ionizante, ALO: Ocupación de Tierra Agrícola, ULO: Ocupación de Tierra Urbana, NLT: Transformación del Terreno Natural, WD: Disminución de Agua, MRD: Agotamiento del Recurso Mineral & FD: Disminución de Recursos Fósiles].

La metodología aplicada muestra los resultados respecto a 18 categorías, cada una es calificada respecto a las unidades de cada categoría (Tabla 5-6). La caracterización realizada automáticamente por el programa consiste en asignar factores procedentes de cálculos científicos que se actualizan conforme se realizan nuevas investigaciones. Dichos factores convierten todos los químicos que afectan a una determinada categoría de impacto a una misma unidad. Así por ejemplo, categorías como la disminución de ozono serán expresadas en una misma unidad, para el ejemplo kilogramos de CFC-11 equivalente.

**Tabla 5-6** Categorías de impacto analizadas en la planta de tratamiento EPS Moquegua para 4 años diferentes. La unidad funcional utilizada está basada en 1 m<sup>3</sup> de agua.

Categoría de impacto	Unidad	2010	2011	2012	2014
Cambio Climático	kg CO2 eq	3.06E-02	3.60E-02	3.62E-02	3.27E-02
Disminución de Ozono	kg CFC-11 eq	5.84E-09	7.95E-09	7.24E-09	5.19E-09
Acidificación terrestre	kg SO2 eq	1.58E-04	1.93E-04	1.95E-04	1.56E-04
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	6.23E-06	8.55E-06	7.88E-06	5.28E-06
Eutrofización marina	kg N eq	1.32E-05	1.80E-05	1.65E-05	1.15E-05
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1.12E-02	1.50E-02	1.43E-02	9.74E-03
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	9.55E-05	1.19E-04	1.19E-04	8.95E-05
Formación de material particulado	kg PM10 eq	5.44E-05	6.84E-05	6.78E-05	5.10E-05
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5.71E-06	7.06E-06	7.47E-06	5.02E-06
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	4.62E-04	6.21E-04	5.76E-04	4.21E-04
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	4.22E-04	5.73E-04	5.37E-04	3.65E-04
Radiación ionizante	kBq U235 eq	2.22E-03	3.02E-03	2.78E-03	1.90E-03
Ocupación de tierra agrícola	m <sup>2</sup> *yr	6.87E-04	9.86E-04	8.52E-04	5.79E-04
Ocupación de tierra urbana	m <sup>2</sup> *yr	8.17E-03	7.36E-03	7.39E-03	7.41E-03
Transformación del terreno natural	m <sup>2</sup>	4.70E-06	5.73E-06	5.66E-06	4.81E-06
Disminución de agua	m <sup>3</sup>	1.03E-03	1.14E-03	1.16E-03	1.30E-03
Disminución de metales	kg Fe eq	1.86E-03	2.72E-03	2.29E-03	1.59E-03
Disminución de combustibles fósiles	kg oil eq	9.66E-03	1.13E-02	1.14E-02	1.07E-02

El estudio del análisis de ciclo de vida cuenta con una fase constructiva y otra fase operativa. Se debe comparar la representatividad de cada etapa para concluir su relevancia. Según las divulgaciones científicas (Friedrich 2002, Sharaai 2011), el proceso de infraestructura tiene un impacto menos significativo que el proceso de operación. En nuestro análisis es evidente que el proceso de infraestructura genera menos del 10% de todos los impactos. (Figura 5.10)

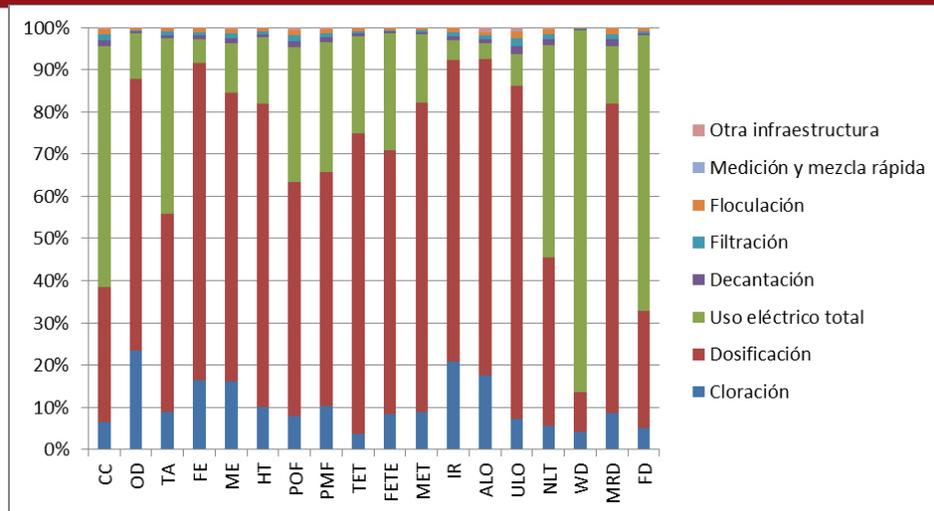


**Figura 5.10** Comparación de impactos entre procesos de infraestructura y de operación.

[CC: Cambio Climático, OD: Disminución de Ozono, TA: Acidificación Terrestre, FE: Eutrofización del Agua Dulce, ME: Eutrofización Marina, HT: Toxicidad Humana, POF: Formación de Oxidantes Fotoquímicos, PMF: Formación de Materia Particulada, TET: Exotoxicidad Terrestre, FETE: Ecotoxicidad de Agua Dulce, MET: Ecotoxicidad Marina, IR: Radiación Ionizante, ALO: Ocupación de Tierra Agrícola, ULO: Ocupación de Tierra Urbana, NLT: Transformación del Terreno Natural, WD: Disminución de Agua, MRD: Agotamiento del Recurso Mineral & FD: Disminución de Recursos Fósiles].

Se puede observar las etapas de cada proceso de operación e infraestructura con más detalle (figura 5.11), como por ejemplo, los resultados de caracterización de las etapas del tratamiento de agua para el año 2014. Dentro de los porcentajes que aporta cada etapa, las etapas que tienen menor impacto son medición y mezcla rápida, floculación, filtración, decantación y otra infraestructura; esto resultados se deben principalmente a que las mencionadas etapas cuentan solo con materiales que componen los elementos de infraestructura como concreto, acero y ladrillo.

Por otro lado, las fases que aportan un mayor impacto son dosificación, cloración y uso eléctrico total. Esto se debe a que en dichas fases los procesos considerados incluyen materiales que son utilizados continuamente en el proceso de producción. En el caso del uso eléctrico total se consideró toda la energía utilizada dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento en la fase operativa, que toma en cuenta los gastos por bombeo, alumbrado, máquinas, entre otros relacionados al laboratorio y las oficinas. A continuación se mostrará el aporte que tiene cada insumo respecto a su proceso de producción, y cuál es el producto que produce una mayor carga ambiental.

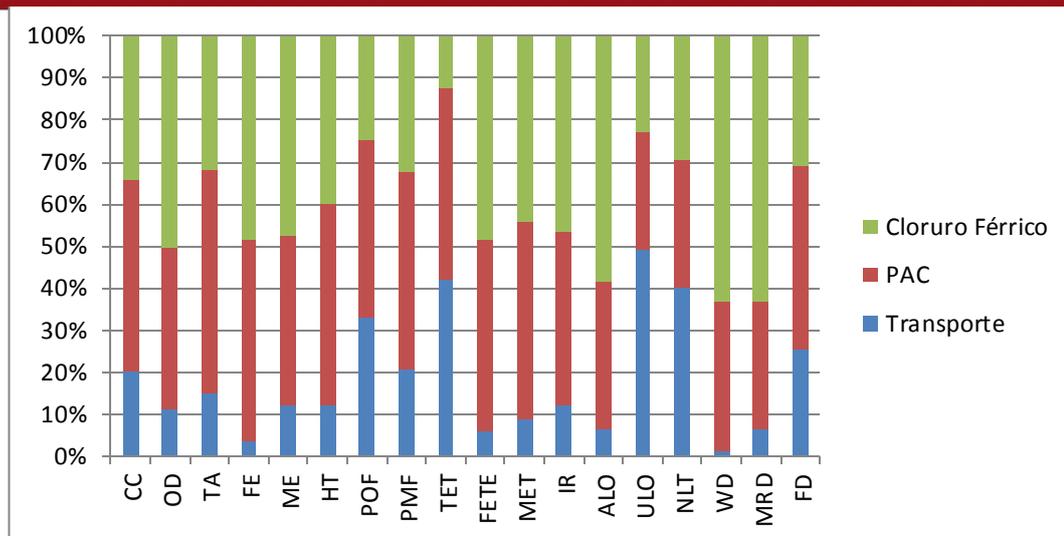


**Figura 5.11** Resultados de caracterización porcentual para el año 2014, por el método Midpoint (H) respecto a 18 categorías de impacto.

[CC: Cambio Climático, OD: Disminución de Ozono, TA: Acidificación Terrestre, FE: Eutrofización del Agua Dulce, ME: Eutrofización Marina, HT: Toxicidad Humana, POF: Formación de Oxidantes Fotoquímicos, PMF: Formación de Materia Particulada, TET: Exotoxicidad Terrestre, FETE: Ecotoxicidad de Agua Dulce, MET: Ecotoxicidad Marina, IR: Radiación Ionizante, ALO: Ocupación de Tierra Agrícola, ULO: Ocupación de Tierra Urbana, NLT: Transformación del Terreno Natural, WD: Disminución de Agua, MRD: Agotamiento del Recurso Mineral & FD: Disminución de Recursos Fósiles].

En el caso de la dosificación, se utilizan grandes cantidades de PAC y cloruro férrico como se vió en la tabla 5-5; sin embargo, en la figura 5.12 se muestra que el transporte no es algo que se pueda dejar de lado, debido a que los químicos deben ser trasladados de Lima hasta Moquegua. Además, se puede observar que los tres componentes considerados para evaluar la dosificación, presentan impactos que difieren en mayor o menor magnitud.

En la figura 5.12 también se observa que el transporte afectará áreas como terrono urbano y natural, ecotoxicidad terrestre y a la formación de oxidantes fotoquímicos. Por otro lado, vemos que el PAC contribuye entre 30% a 50% de todos los impactos, dentro del componente los insumos más destacados que ocasionan dichas cargas ambientales son el hidróxido de aluminio y el ácido hidroclicóric. En el caso del insumo  $FeCl_3$ , se tienen valores múltiples para cada impacto, se considera que su incidencia es mayor en áreas como disminución del agua y disminución de metales.



**Figura 5.12** Caracterización de la etapa de dosificación por medio de ReCiPe Midpoint H. Valores para el año 2014.

[CC: Cambio Climático, OD: Disminución de Ozono, TA: Acidificación Terrestre, FE: Eutrofización del Agua Dulce, ME: Eutrofización Marina, HT: Toxicidad Humana, POF: Formación de Oxidantes Fotoquímicos, PMF: Formación de Materia Particulada, TET: Exotoxicidad Terrestre, FETE: Ecotoxicidad de Agua Dulce, MET: Ecotoxicidad Marina, IR: Radiación Ionizante, ALO: Ocupación de Tierra Agrícola, ULO: Ocupación de Tierra Urbana, NLT: Transformación del Terreno Natural, WD: Disminución de Agua, MRD: Agotamiento del Recurso Mineral & FD: Disminución de Recursos Fósiles].

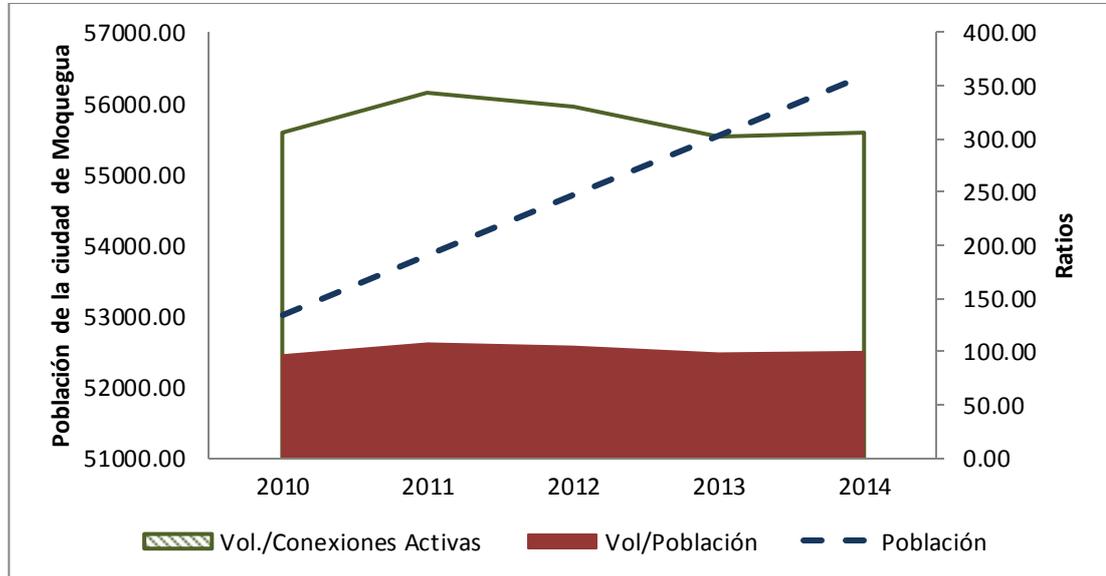
La etapa de cloración presenta valores relativamente altos debido a que el cloro gas es uno de los insumos imprescindibles al momento del tratamiento final del agua y se aplican grandes volúmenes mensualmente. Los procesos considerados por SimaPro para la producción de cloro gas son de celda de diafragma, celda de membrana, y celda de mercurio. Dentro de cada proceso mencionado se considera cloruro de sodio, electricidad, transporte, entre otros.

El caso del uso eléctrico es un poco diferente debido a que en su producción intervienen la energía eléctrica producida tanto por el gas natural, que representa aproximadamente un 70% y la energía hidráulica que representa cerca del 30% restante. Dichos valores como se comentó líneas arriba, se calcularon en base a la matriz energética del Perú (Vázquez-Rowe et al. 2015).

### **EVALUACIÓN DE PRODUCCIÓN DE AGUA RESPECTO A REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS**

Como se puede apreciar en la figura 5.13 es claro que a pesar de aumento de la población de acuerdo a los valores tomados del INEI (2015), la producción de agua por habitante o respecto a las conexiones activas tiende a disminuir. A pesar de aún

tener picos altos como se muestra para el año 2014, los ratios de Volumen/Conexiones activas y Volumen/Población tienden a disminuir y esto se debe a las medidas tomadas para la reducción de pérdidas y al Plan Maestro Optimizado (EPS 2006).



**Figura 5.13** Evolución de la producción de agua para meses entre 2010 al 2014

Este es un claro indicio de que las medidas tomadas para la reducción de pérdidas han sido adecuadas, pero que se pueden implementar otras mejoras. Este potencial fue valorado y su apoyo en la implementación de nuevos micromedidores se ve reflejada en las diversas Memorias Anuales de la EPS desde el año 2010 hasta 2014 (EPS 2010, 2011b, 2013, 2014).

Una reducción de pérdidas significa menor uso de químicos y electricidad invertidos para el tratamiento de agua potable, además una mejora en la continuidad del sistema pues se dispone de más agua que puede llegar por más tiempo. Si observamos estos beneficios en términos ambientales representa un menor uso de energías no renovables como el gas natural, un mejor aprovechamiento de los recursos, y menores impactos en la disminución de agua potable en las fuentes naturales, aguas arriba, que en el caso de Moquegua provienen de la cuenca del río Tambo y que depositan sus aguas en la Presa Pasto Grande encargada de proveer este líquido elemento.

#### 5.4 HISTORIAS ORALES DE LA CALIDAD DE AGUA

El capítulo se orienta a comprobar si la percepción de la gente está acorde con los datos cuantitativos que se tiene de la empresa. Mediante la aplicación de un estudio cualitativo, en este caso la entrevista, se realizará una explicación de la situación del recurso hídrico visto desde el panorama social.

Durante la realización de las entrevistas, se buscó entrevistar sobre todo a gente cuya residencia en Moquegua fuera mayor a 5 años. Esta búsqueda se da con el fin de que las personas puedan explicar por ellas mismas el antes y el después de la calidad de agua que ellos perciben.

Antes de empezar la entrevista se realizaba una breve explicación de los propósitos de la investigación, la universidad de procedencia y la simplicidad de las preguntas que se iban a tratar. Se fomentó la confianza que tenían las personas sobre sus propias percepciones de manera que se genere el ambiente propicio para los puntos de vista referentes a la historia personal de cada uno.

Un hecho significativo, fue que durante la búsqueda de personas a entrevistar, muchos no aceptaban ser entrevistados debido a que trabajan para alguna minera de la ciudad, y decidían no responder ya sea porque sentían un compromiso con la empresa o porque habían tenido problemas anteriormente por manifestar lo que opinaban sobre la empresa a medios de comunicación públicos.

Después de conversar con los entrevistados se encuentra algunos argumentos que son comunes a los individuos, a continuación se muestran algunos argumentos respectivamente justificados con lo que opinan las personas.

La mayor parte de la población comprende que su relación con el agua está directamente relacionada con necesidades diarias como el aseo personal, la limpieza de su casa y enceres, alimentación, entre otras actividades domésticas. Se comprobó que en general valoraban el agua en cuanto la veían directamente y estaban informados de cómo se realizaba su uso.

Como respuesta a la pregunta sobre la importancia del agua, se manifestó no sólo que era vital y que sin ella no podían vivir, sino incluso que el agua era como su familia.

El agua en Moquegua debe satisfacer las necesidades de un, cada vez mayor, número de personas aproximadamente 59 682 según información del INEI (2014), y las personas realmente pueden percibir este aumento debido a una percepción de

disminución en el volumen de agua que reciben. En la entrevista las respuestas se dividieron en personas que sí consideran que se satisface sus necesidades y otras que no.

*Entrevistadora: ¿Siente que su sistema de agua cumple todas sus necesidades y las de sus vecinos? ¿Cómo cree que sus vecinos satisfacen estas necesidades?*

En el caso de las personas que respondieron que no, se anotan algunas respuestas a continuación.

*Entrevistado 1: Siento que no, porque últimamente hemos estado sufriendo bastantes cortes de agua. Es difícil para nosotros enterarnos que van a cortar el agua. Últimamente el caudal que tenemos es menor que antes. También vemos que hay más demanda de agua y no pueden soltar más agua, porque si sueltan más agua tendrán problemas con las lagunas del PTAP y que ya van a colapsar, además no pueden soltar tanta agua porque nosotros también no sabemos usar un uso adecuado del agua porque no sabemos racionar.*

Sin embargo, también existe el caso de pobladores que sienten que la culpa en la disminución del agua no solo se debe al aumento poblacional, sino que están directamente relacionadas con el comportamiento de consumo que se tiene. Algunas de estas personas, sí consideran que se satisfacen sus necesidades, mientras que otras consideran que la necesidad es cubierta parcialmente o al menos para otros de sus vecinos.

*Entrevistado 3: Claro que sí se cumplen, pero a veces nosotros como seres humanos desperdiciamos el agua, utilizamos en cosas que no debemos utilizar. O de repente una instalación mal hecha, hay una fuga de agua, entonces qué estamos haciendo contra esto? Tenemos que superarlo para que el agua se respete también.*

*Entrevistado 5: ¿Se intenta no?, según ellos nos dicen júntese el agua, pero no es suficiente, pero pasa un día, 2 días, 3 días y no hay agua. No cumplen con esas promesas que dicen.*

*Entrevistado 6: A algunas personas, yo tengo mi casa de 3 pisos y no tengo agua en el tercer piso. No satisface, no tengo mucha agua. Para satisfacer sus necesidades depositan agua, incluso yo anoche he depositado para mi*

*tercer piso. Es necesario depositar, porque si hay un incendio no tenemos agua.*

*Entrevistado 7: No tanto así, pienso que en ese tema habría que concientizar y disminuir el uso del agua, ese sería el punto clave.*

Con esta pequeña muestra de encuestados, se puede inferir que la gente es consciente respecto a su responsabilidad con el recurso; sin embargo, la mayor parte de los encuestados no sienten que el sistema de agua proporcionado cumple con sus expectativas.

Respecto a este punto intervienen otros factores como la intervención de empresas externas que impiden que el consumo de agua sea satisfactorio por rupturas constantes de tuberías y cortes asociados a estas y al cambio de redes. Esta percepción es eventual puesto que la empresa que mencionan, Superconcreto, viene realizando labores para mejorar los sistemas de agua potable y alcantarillado en el Distrito de Moquegua desde el año 2014 y probablemente tenga como fin el año 2016.

*Entrevistado 9: Ya todo el pueblo está saturado de los cortes, por la empresa SuperConcreto que hace lo que quiere acá, no tenemos agua para bañarnos, para lavar ropa, etc. Nos quejamos al consejo oídos sordos, nos quejamos al otro, todo acá es un desbarajuste, no hay respuesta a ese problema. Porque en distintas partes de la ciudad no hay agua, entonces ESAMO, la que controla el agua, dice de que es por lo que estaban haciendo limpiezas en tuberías, en los canales, que viene el agua de Pasto Grande para acá y por eso era, pero ya ha pasado eso no? Y sigue el problema. Por eso hay el descontento del pueblo con el agua.*

El tópico que evidencia la preocupación respecto al agua es la calidad y la percepción de pobladores que han vivido más de 15 años en la ciudad. A continuación se muestran tres testimonios de las personas sobre su percepción del cambio en la calidad del agua con respecto al paso del tiempo.

*Entrevistador: ¿Cuál es tu percepción en cuanto a la calidad de agua que usted utiliza? ¿Siente que ha cambiado con el paso del tiempo?*

*Entrevistado 11: Me pareciera que ahora el agua contiene más cloro, ya que en mi casa criamos peces, entonces siempre hemos estado viendo lo que es*

*el agua, cómo viene, y últimamente viene más clorada. (Pobladora que vive más de 15 años en la ciudad)*

*Entrevistado 4: El agua está mala por los minerales. El agua ya no es lo que era. Antes el agua era buena, buena fruta, buena agricultura. Ahora por el efecto que no hay agua se está malogrando el medio ambiente, todo el sistema. Viene de Ilo trae esa atmósfera, de Cuajone igual. Las aguas servidas la mezclan con el agua buena, y esa agua va a Ilo.*

*Hoy en día, los afluentes hídricos que tenía Moquegua allá en Suches, hoy en día va usted y están como este suelo, seco. Es como una casta, se ha colado y la Southern hace lo que quiere. Es un agua mezclada con Arsenio, minerales, lo de lixiviación. Más que todo la empresa minera, que es la Southern, es la que ha hecho lo que ha querido con el agua. (Poblador que viva más de 50 años en la ciudad)*

*Entrevistado 5: Yo soy de Torata, donde está justo a pies de la mina, yo he nacido ahí, yo he salido al río a jugar y habían bastantes pececitos, ranas, bagres, sapos todo no? En el río, porque el agua era limpia. Existían lo que dicen manantiales, puquios, el agua se filtraba en un sitio y salía el agua ahí. Esa agua era calentita, para tomar bien rica, qué pasa? Desde que comenzó las mineras a trabajar todo ha ido paulatinamente bajando, no hay un pez en el agua. Ya el agua no es insípida, no es blanca, es un poco turbia; nosotros creemos que esa agua ya está contaminada, según lo que los alcaldes hacen los análisis también dicen que sí, pero usted sabe la Southern es una empresa poderosa que compra a los grandes y el agua ahí queda. (Poblador que viva más de 50 años en la ciudad)*

*Entrevistado 6: Ya no es limpia, ya es amargo, ya no es como hace 40 años, antes era el agua rica. Ahora ya no, amarga, sale con espuma, con olor. (Pobladora que vive más de 40 años en la ciudad)*

*Entrevistado 9: Ahora le hechan más cloro, antes no le echaban cloro. (Poblador que vive más de 50 años en el centro de la ciudad).*

Como se observa en los párrafos anteriores, la población percibe en general que el nivel de cloro es más elevado. Algunos de ellos responsabilizan a la empresa minera Southern de no realizar un tratamiento efectivo de sus aguas residuales, lo que influye en los ríos que proveen de agua a la planta de tratamiento.

Esta percepción de contaminación de agua de los afluentes se evidencia, según los pobladores, en la desaparición de especies que el río tenía respecto al aumento de operaciones en la zona de Cuajone, realizadas por la minera Southern.

El aspecto del cloro, es en general percibido por el color lechoso del agua, o por el sabor con el que el agua llega a cada casa. Cada poblador al recordar cómo era el líquido elemento años atrás afirmaba que la calidad de agua era superior, si se toma en cuenta que la EPS Moquegua empezó a operar apenas hace aproximadamente 25 años, es evidente que la calidad de agua río arriba a variado significativamente, algunos documentos (DRSM 2011, GRM2014) también señalan que debido a los niveles no permisibles de algunos elementos es recomendable tomar medidas para que el agua no represente un riesgo para la salud de la población y su entorno.

El gran problema que representa que los pobladores no estén conformes ni con la calidad en el sistema de agua, ni con la calidad del recurso mismo, radica en que con estas percepciones es imposible que se convenza a la población que la EPS es la mejor empresa mediana de agua en el Perú, y que realiza grandes esfuerzos para mejorar en todos los aspectos.

Mientras la empresa no transparente la información y otorgue a la población confianza en el sistema de agua, esta no cambiará de percepción. De esta manera no solo se genera una imposibilidad para aumentar el precio del recurso para mejorar la gestión del agua, sino también va incubándose poco a poco un futuro problema social, en el cual los pobladores exigirán que se mejoren sus condiciones por medios más severos.

Finalmente, se realizó una última pregunta para saber si las personas naturales de Moquegua conocen en general de dónde viene el agua y hacia dónde va. En las respuestas muchos de ellos la ven como un recurso propio de su tierra; sin embargo, los pobladores naturales de otros departamentos, ven el recurso como algo que viene de muy lejos como lo menciona el entrevistado 3.

*Entrevistado 3: El agua viene de los cerros de Puno, por los ríos de Puno, yo pienso, de un convenio de la empresa con esos lugares.*

Es importante, que a pesar de la alta migración de personas, debido al aumento de las actividades económicas en la ciudad, se realicen algunas campañas para que la gente se sienta identificada con su cuenca, para que estas mismas personas puedan impulsar mayores trabajos con la cuenca del agua y su respectiva protección.

Cada año llegan a la ciudad de Moquegua cientos de personas a trabajar en actividades extractivas como la minería y esto a su vez significa un aumento del trabajo en otras actividades como educación, construcción, manejo de maquinarias, etc. Estas personas muchas veces consideran Moquegua como un centro de trabajo del cual se puede extraer los recursos fácilmente y no como un lugar que necesita de su compromiso para un consumo responsable del líquido vital y para ejercer su responsabilidad de protección del agua en favor del medio ambiente.

La población acogida recientemente debido a la migración e incluso la población que reside muchos años en Moquegua desconoce a los encargados de administrar el recurso agua, esto significa que existe poca capacidad para dar a conocer su opinión frente a una posible queja e incluso una limitación para exigir una mejora de servicios y rendición de cuentas de las autoridades correspondientes.

A pesar de que no se incluyó las opiniones de los entrevistados en su totalidad, de las 15 personas entrevistadas, 13 manifestaron experiencias negativas en su relación con el agua respecto a diversas materias tales como el color, el nivel de cloro, la presión del agua al llegar a sus hogares, la falta de continuidad y la poca cantidad del líquido elemento. Por otro lado, 2 personas manifestaron encontrarse conformes con el servicio en general y concordaban en que su experiencia era positiva y que no observaban mayores variaciones.

## 6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Un primer resultado evidente es que la fase operacional tiene un mayor impacto que la fase constructiva. La cuantificación de impactos pone en evidencia que dentro de la fase operacional, la etapa que produce mayores impactos es la dosificación. Es por ello que se precisa de una evaluación a detalle de los componentes implicados en la dosificación.

Al evaluar cada componente de la etapa de dosificación, PAC,  $\text{FeCl}_3$  y transporte, se advierte que los tres insumos tienen una responsabilidad compartida en cada categoría de impacto. Como se observa en la figura 5.12, los elementos con mayor impacto son el cloruro férrico con porcentajes dominantes en 8 categorías, seguido por el PAC con porcentajes altamente relevantes para 6 categorías y finalmente se tiene al transporte cuya relevancia es mayor en tan solo 3 categorías

Que un elemento como el transporte fuera tan importante en esta etapa fue inesperado (figura 5.12), debido a que el hecho de transportar los insumos como el cloro gas y cloruro férrico de Lima a Moquegua representa un gran impacto ambiental en lo que respecta a la ecotoxicidad terrestre, la ocupación de tierra urbana y transformación del terreno natural. Este primer resultado contrasta con los usuales resultados presentados por ejemplo por Tarantini et al. (2001) que encuentra que el impacto del transporte es despreciable. A su vez contrasta con las conclusiones de Vince et al. (2008) y Mahgoub (2010) que encuentran en la energía el principal responsable de todas las cargas ambientales.

Por otro lado, la debilidad encontrada en la fase de operación proviene principalmente de los productos PAC y el  $\text{FeCl}_3$ , tienen porcentajes similares en los impactos, esto a pesar de que el PAC reportó mayores consumos respecto al  $\text{FeCl}_3$  en el último año analizado.

La cantidad de  $\text{FeCl}_3$  debe ser revisada nuevamente por las entidades responsables de autorizar los insumos para el tratamiento de agua, con el fin de evaluar posibles alternativas a su uso puesto que el cloruro férrico es considerado como uno de los principales responsables de la disminución de la capa de ozono equivalente a 35 kg de sulfato de aluminio (Vince 2007). Una sugerencia realizada por Barrios et al. (2008) es el uso de sulfato férrico como coagulante e hidróxido de sodio, con la condición de que se verifique que su producción haya sido realizada con energía verde.

A pesar de que el cloro gas tenga un gran impacto, es difícil evaluar un posible cambio de químico puesto que para la etapa de purificación final este insumo es el más económico. Sin embargo, algunos autores como Desireé Marin (Comas et al. 2012) señalan que es recomendable el uso de Ozonificación o Radiación Ultravioleta. Para utilizar estos procesos sería necesaria la voluntad política para establecer nuevos reglamentos a nivel nacional que puedan regular estas tecnologías, así como para invertir en proyectos de esta naturaleza.

Como menciona Tarantini et al (2001) acerca de los químicos: “Una dosis adecuada puede reducir el consumo de la cantidad y consecuentemente de los impactos actuales”. Por lo que se debe insistir en realizar procesos de cálculo más exhaustivos en la dosificación.

La bibliografía nos indica que en estudios de este tipo, la electricidad suele representar el impacto más elevado en el ciclo de vida. Por ejemplo, Vince et al (2008) demuestra que tanto en una planta de tratamiento convencional como en la planta de tratamiento por membrana se pueden tener impactos comparables si el consumo de energía es similar; en ambos casos de su evaluación la energía representaba el 80% de impactos. Por otro lado, Tarantini et al (2001) también prueba en su estudio que una planta de tratamiento de agua potable representa el mayor consumo de energía, aproximadamente 65% de todo el ciclo urbano del agua.

El impacto del consumo eléctrico no fue muy grande comparado a estudios anteriores debido a varios factores. En primer lugar, el agua que llega a la planta de tratamiento proviene de una cuenca que lleva las aguas por gravedad hasta el mismo lugar del tratamiento.

En segundo lugar, hasta antes del año 2014 sólo se usaba la electricidad con fines de bombeo del cloro gas hacia el agua. El último año de estudio muestra un incremento en el consumo eléctrico puesto que se adquirió nuevas bombas para la inyección de agua desde el nuevo reservorio, que se encarga de colectar agua en temporadas en las que es imposible abastecerse solo con el agua que llega del río, con el fin de que la PTAP tenga un volumen casi constante en las diversas épocas del año.

Este consumo eléctrico relativamente menor a lo usual nos indica que la planta de tratamiento está ubicada en un buen lugar puesto que permite distribuir agua a la población si necesidad de bombear agua constantemente en diversos puntos del

proceso. Esto es compatible con los análisis de sensibilidad realizados usualmente para las plantas de tratamiento (Vince, 2008) en las que determinan que el impacto que tiene un sistema es directamente proporcional a la distancia que existe entre la potabilizadora y los destinatarios finales del agua.

Además, en otros estudios la mayor cantidad de impactos provenientes de la energía eléctrica son debido a la procedencia de su producción; sin embargo, en el caso evaluado la mayor parte de energía proviene de la energía hidroeléctrica cuyos impactos ambientales son mucho menores a los producidos por fuentes de energía nuclear o producto de combustibles fósiles (Vázquez-Rowe et al. 2015).

De la figura 5.13 sobre la evolución de la producción de agua desde el año 2010 hasta el año 2014, se conoce que realmente se están mejorando los sistemas de producción de agua debido a que se produce agua de manera más continua y relativamente en menor cantidad para una población que crece constantemente. Se puede realizar un cálculo simple para verificar que si una persona promedio consume 210 litros de agua al día (SUNASS 2014a), se puede concluir que el ahorro de cada metro cúbico de agua beneficia a cinco personas.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la investigación se desarrolló un análisis de ciclo de vida a una planta de tratamiento de agua potable con el fin de comparar los beneficios que trae consigo el ahorrar un metro cúbico de agua. La estructura seguida para la realización de este ACV se basó en los estándares ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). El Inventario de Ciclo de Vida fue desarrollado a partir de los archivos de Ecoinvent y para evaluar los datos la metodología ReCiPe se usó el software SimaPro 8.

La comparación a través de los años, se pudo cumplir el objetivo de evaluar la empresa a lo largo de la implementación de medidas correctivas en el sistema de distribución. Se puede ver que para el año 2014 (Tabla 5-6) para la mayoría categorías de impacto como disminución de ozono, acidificación terrestre, eutrofización, ecotoxicidad, etc., se presenta una clara disminución en las cantidades de impactos negativos; pocas son las categorías que presentan un pequeño aumento como disminución de combustibles fósiles, disminución de agua y cambio climático. Esto se debe principalmente a que para el año 2014 los ratios de volumen/población tuvieron una disminución relativa comparada 2011 y 2012 (Figura 5.13), por lo que los químicos utilizados para producir los volúmenes de agua para la producción en general disminuyeron.

La investigación no sólo desarrolló el cálculo de las cargas ambientales de la planta tanto durante la construcción y operación, sino que buscó relacionar este tema con las medidas que se llevan a cabo para mejorar los procesos tanto para producir el agua como para evitar la pérdida de la misma en el sistema de distribución. Por lo que se comprueba que las implementaciones llevadas a cabo por el Plan Maestro Optimizado EPS (2006) y la Implementación de Medidas de Rápido Impacto (GTZ 2008) tuvieron un impacto positivo.

Debido a que la calidad de datos emitidos por la empresa, respecto a la cantidad de insumos utilizados y el consumo de energía eléctrica, es buena, tanto por su representatividad, consistencia y precisión, se puede concluir que los resultados serán también de buena calidad. Algunos datos que fueron inferidos de los datos de la empresa fueron referentes a los planos de construcción, de los cuales se realizó el cálculo del metrado de materiales utilizados, por lo que la precisión en este tema es menor.

A pesar de no contar con un historial detallado de datos sobre la calidad de agua en la fuente, Pasto Grande, a lo largo del tiempo. Algunos documentos (DRSM 2011, GRM 2014) evidencian que las características fueron variando a lo largo del tiempo en la subcuenca de Pasto Grande, un aumento en el uso de químicos como el cloruro férrico son producto del aumento en la concentración de metales río arriba.

Algunos referentes en la evaluación de calidad de agua del sistema de derivación de aguas del embalse Pasto Grande como la realizada el año 2011 por la Dirección Regional de Salud Moquegua (DRSM 2011), muestran una variación en los parámetros físico-químicos. En dicho documento se señala que para los meses de marzo y abril se recolectan muestras de agua y se halla valores de pH básicos; sin embargo, en el mes de julio algunos puntos de salida presentan parámetros de pH básicos.

Por otro lado, el informe de la DRSM (2011) también señala que los parámetros inorgánicos presentan variaciones, mientras que el mes de marzo se presenta altas concentraciones de Hierro y Manganeso en la Bocatoma Torata, para el mes de julio otros puntos como el del Tunel Jachacuesta, río Chilligua y Otorá muestran concentraciones elevadas de manganeso. Asimismo, dicho estudio apunta que la calidad de agua de la Subcuenca Pasto Grande y su sistema de derivación requieren de un mejor método de recuperación de aguas ya que representan un riesgo para la salud de la población y su medio ambiente (DRSM 2011).

Por otro lado, el Informe Técnico N°061-2014-DRSM-DSA-EPASO-LMMR advierte que “los parámetros de Manganeso, Coliformes Totales y Termotolerantes sobrepasan los Estándares Nacionales de calidad Ambiental, Categoría 3 ‘Riego de vegetales y bebida de animales’. También considerando al uso del agua, la Categoría 1, Subcategoría A-2, los parámetros de Aluminio, Boro, Coliformes Totales y Termotolerantes sobrepasan los ECAS establecidos por el D.S. 002-2008-MINAM” (GRM 2014). Esta advertencia es la evidencia de que los niveles de elementos como metales pesados se han incrementado, y esto es debido a actividades desarrolladas aguas arriba de la Presa Pasto Grande. Por lo tanto, estos parámetros y el informe de la DRSM (2014) evidencian que estos factores influyen claramente en el aumento progresivo de químicos empleados en el tratamiento de agua en la PTAP Moquegua.

Debido a que los químicos empleados son de gran importancia para el tratamiento de aguas, los cálculos realizados se observó que la etapa que ocasionaba el mayor

impacto era la de dosificación, esto evidencia que el uso de químicos como el cloruro férrico y el policloruro de aluminio producen cargas ambientales importantes. A su vez en esta etapa se evidenció que la cantidad de químicos que se trasladaban desde la fábrica de ubicada en Ate Vitarte hasta Moquegua producen a su vez impactos considerables.

Sin embargo, como se revisó en las tablas de impactos para los años seleccionados, una mayor cantidad de agua tratada no significa mayor eficiencia operativa ni mucho menos eficiencia ambiental. Por lo tanto, se debe cuidar el equilibrio entre cantidad de agua y uso de insumos químicos, sobre todo el uso del PAC.

De las estadísticas realizadas por la SUNASS, se infiere que el trabajo dedicado por mejorar la situación de la EPS Moquegua ha dado frutos posicionándola como una de las mejores potabilizadoras de mediano tamaño y con uno de los porcentajes más altos de cobertura de agua.

Como se observó en la tabla 5-4, existen empresas de saneamiento peruanas que aún no han implementado mejoras en sus sistemas de distribución, mejoras como la micromedición, que tienen un potencial muy grande para obtener beneficios no solo ambientales sino también económicos. El beneficio inmediato es cuantificable debido al incremento de producción en los volúmenes de agua y la disminución en el uso de químicos. Sin embargo, también será posible cuantificar de alguna manera los impactos ambientales en base a las categorías presentadas en este trabajo.

Cuando se comparan los distintos análisis realizados por diversos autores para diferentes localidades se puede hallar resultados de impactos distintos. A pesar de encontrarse algunas semejanzas en los porcentajes generales, se puede afirmar que el tratamiento de agua depende tanto de la ubicación de la planta respecto a las fuentes de las que extrae el agua. Por lo tanto, es necesario que cada empresa evalúe sus propias necesidades de acuerdo a las características propias de su sistema.

Mientras se apunte siempre a una tendencia creciente en la capacitación del personal, administración eficiente, medición de pérdidas continua, etc. se logrará una mejora trascendental tanto para la empresa como para el medio ambiente. Estas características forman parte de una comprensión holística de la mejora en el ahorro del agua, que implica manejar los aspectos técnicos que incluyen una

mejora metodológica y tecnológica en los sistemas así como una mejora en la toma de decisiones administrativas acerca del uso de los recursos

Si se logra que los usuarios se den cuenta que para disminuir los impactos no solo la empresa debe disminuir las pérdidas sino que cada usuario debe lograr mejoras en los comportamientos y actividades que impliquen el uso del agua, podrán ayudar a tomar mejores decisiones en todo el sistema con aportes de todos los involucrados.

Por otro lado, las conclusiones de la metodología cualitativa fueron igual de instructivas que las conclusiones cuantitativas. De los pequeños extractos que se vieron a lo largo del capítulo de “Historias Orales de la Calidad de agua”, es necesario resaltar algunos puntos para revisar cómo se percibe el agua.

En primer lugar, cada vez es más importante realizar una investigación cualitativa, que se integre a los conocimientos cuantitativos. Si sólo se realiza cálculos numéricos es más difícil que la población acepte resultados que no observa en su vida diaria, o cuyos vecinos se quejan constantemente de continuos problemas en su sistema o calidad de agua.

Es segundo lugar, el tema del veloz aumento de población en Moquegua no debe ser dejado de lado en los objetivos de la empresa por dos motivos. Un número creciente de personas que consumen el recurso hídrico en Moquegua representa también un mayor número de personas que deben ser concientizadas sobre el uso del mismo, la empresa no puede dejar de lado las campañas para valorar y ahorrar el agua puesto que son miles de personas que tienen el deseo de cuidar su recurso pero no pueden hacerlo tangible debido a desconocimiento o a falta de recursos.

Respecto a este mismo materia, el crecimiento de la población no solo se debe al aumento en la tasa de natalidad en la ciudad, sino sobre todo al aumento de migrantes hacia Moquegua, dichas personas deben ser orientadas a valorar el recurso de la ciudad que los acoge y a preocuparse por su mejoramiento.

En tercer lugar, debido a los cambios recientes en la red de tuberías, la gente siente cada vez más la deficiencia en el sistema de distribución, a pesar de que este cambio de redes responde a una urgencia para la mejora para el sistema de agua potable y alcantarillado, las personas deben ser tratadas con mayor cortesía y ser informadas oportunamente de los posibles cortes o disminución en el volumen de agua. Con mejor información, será posible que en un futuro las personas no tengan

resentimientos con la empresa por malos tratos o sienta que el manejo de la empresa está bajo representantes incapaces de administrar bien el recurso.

En cuarto lugar, las personas si bien sienten que tienen el poder con respecto al agua en preguntas directas, es evidente que en preguntas indirectas ellas evidencien su incapacidad para cambiar situaciones como la percepción de que la empresa minera tiene una influencia negativa río arriba y que esta conducta queda impune.

Finalmente, es evidente que ningún entrevistado fue indiferente a responder con amplitud sus percepciones respecto a posibilidades de mejora, preocupaciones e incertidumbres sobre este recurso. La población Moqueguana puede tener una percepción positiva o negativa, pero se necesitan abrir más brechas para el diálogo de manera que no sientan culpa si trabajan para una empresa minera o imposibilitados para quejarse por el servicio que reciben sino que se sientan comprometidos con exigir una mayor calidad no solo a la empresa que realiza el tratamiento de agua sino comprometerse con fomentar la calidad en los orígenes de la cuenca, de donde proviene el agua que ellos consumen.

## **RECOMENDACIONES**

### **AL ESTUDIO**

Expertos como Jane Bare (2000) sugieren que los métodos midpoint y endpoint podrían ser otorgados conjuntamente a los tomadores de decisiones con el fin de proveer más información. Además, ella también señala que de esta manera se pueden aprovechar el beneficio del midpoint, la certidumbre, así como obtener ventaja de la mayor relevancia que ofrece el endpoint (Bare et al. 2000) . Por lo tanto, en un futuro será necesario implementar el método endpoint por la facilidad de entendimiento para la sociedad sobre los efectos finales.

Para un análisis más detallado de los datos que se tomaron para los totales anuales, pueden ser cambiados para analizar el promedio, o también el mejor y el peor de los casos, estas variaciones resultan en diferentes cantidades liberadas al ambiente.

En futuros estudios será necesario evaluar tanto la calidad del agua en la fuente, como la evolución de la disponibilidad de este recurso a lo largo del tiempo, esta última variable definirá las medidas a tomar para una concientización más efectiva

del uso eficiente de agua. Además, se deben desarrollar nuevas maneras de interpretar los resultados y comunicarlos con el fin de promover el uso adecuado de químicos al momento del diseño de dosificaciones y mezclas por parte del operador.

El aspecto cualitativo es relevante para cualquier estudio a realizarse en el futuro pues permite ampliar la visión del estudio, si la impresión que tienen los usuarios del agua es negativa implica que todo el trabajo realizado estará condenado a pasar desapercibido y por lo tanto que las personas se sientan menos dispuestas a colaborar en la protección del recurso o aceptar nuevas iniciativas para la mejorar del sistema.

## **A LA EMPRESA**

Casi la totalidad de nuestro país continúa usando sistemas de gravedad, filtros de arena y desinfección con cloro; pero conforme al crecimiento de contaminantes es probable que las técnicas tradicionales de tratamiento deban ser repensadas y reemplazadas en el futuro; las nuevas tecnologías nos sugieren que el futuro de la desinfección podría hallarse en la Ozonificación o la Radiación Ultravioleta (Desireé Marín en Comas et al. 2012).

Este aspecto cobra una mayor relevancia si se contrasta con la percepción que tiene la gente sobre la gran contaminación que viene del río aguas y la poca confianza en el sistema de tratamiento actual que les provee de agua. Sin embargo, es necesario que las normativas peruanas empiecen a regular los nuevos mecanismos, caso contrario, su implementación sería poco factible.

El control y automatización de los sistemas ayudan al desarrollo de la sostenibilidad. Al término de esta investigación se estaba implementando el sistema SCADA que permite un monitoreo a tiempo real, sistemas como este ayudan a maximizar la eficiencia en el uso de la energía. Es importante, que se den a conocer esta clase de esfuerzos para que la población pueda ver la mejora en el sistema y sienta mayor confianza en los administradores del recurso hídrico.

A largo plazo se deben evaluar otras posibilidades para la potabilización como el tratamiento de aguas residuales para consumo general, aunque al inicio no sean aceptadas por el público, ayudará a mejorar el panorama. Esto será necesario debido a que resulta más eficiente ambientalmente reutilizar el agua que realizar tratamientos alternativos con tecnologías costosas.

## REFERENCIAS

AELION, Vital, CASTELLS, Francesc y VEROUTIS, Agis.

1995 “Life cycle inventory analysis of chemical processes”. En *Environmental Process & Sustainable Energy*, volumen 14, edición 3, pp. 193 – 200.  
Consulta: 20 de Junio de 2015

AFGAN, N. BOGDAN, DUIĆ, N. & GUZOVIĆ, Z.

2007 *Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems: Proceedings of the 3rd Dubrovnik Conference, Dubrovnik, Croatia, 5-10 June 2005*. Singapore: World Scientific.

ALMEIDAA, M. C., VIEIRAA, P., & SMEETS, P.

2014 “Extending the water safety plan concept to the urban water cycle”. *Water Policy*. pp. 298-322.

ALVAREZ-GAITAN, J., PETERS, G., ROWLEY, H., MOORE, S., & SHORT, M.

2013 “A hybrid life cycle assessment of water treatment chemicals: an Australian experience”. *International Journal Of Life Cycle Assessment*. pp. 1291-1301.

BONTON, Alexandre, BOUCHARD, Christian, BARBEAU, Benoit & JEDRZEJAK, Stéphane.

2012 “Comparative life cycle assessment of water treatment plants.” *Desalination*.  
Consulta: 1 de mayo de 2016.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411007375>

ECOINVENT CENTRE

2014 “Ecoinvent Database 3.1.” *Ecoinvent Centre*. Consulta: 8 de mayo de 2016.

[http://www.ecoinvent.org/database /](http://www.ecoinvent.org/database/)

FFCyT

2012 *Diagnóstico del Agua en las Américas*. Red Interamericana de Academias de Ciencias. México, Distrito Federal: Foro consultivo Científico y Tecnológico, AC.

FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N., ALTHAUS, H., DOKA, G., HECK, T., HELLWEG, S., HISCHIER, R., NEMECEK, T., REBITZER, G., SPIELMANN, M. & WERNET, G.

2007 *Overview and Methodology. Ecoinvent Report No. 1.* Dübendorf.: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

BARE, Jane, HOFSTETTER, Patrick, PENNINGTON, David & UDO DE HAES, Helias.

2000 “Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Volume 5, Edición 6, pp 319 – 326.

BELL, S.

2013 “Briefing: Creating sustainable urban water systems”. *Urban Design & Planning: Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers*. pp.100.

BORGHI, A., STRAZZA, C., GALLO, M, MESSINEO, S., & NASO, M.

2013 “Water supply and sustainability: Life cycle assessment of water collection, treatment and distribution service”. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 18 (5) pp.1158 – 1168.

CARDIM, Arnaldo.

2001 *Análisis de ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento.* Tesis Doctoral en Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Consulta: 25 de noviembre de 2014.

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5903/TESIS.pdf?sequence=1>

COMAS, Joaquim & MORERA, Sadurní

2012 “Life Cycle Assessment and Water Management – Related Issues”. *Documenta Universitaria*

## CONGRESO DE LA REPÚBLICA

2004 Ley N°28245. Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Lima, 8 de junio. Consulta: 22 de Mayo de 2016

[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=2146](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=2146)

2005 Ley N°28611. Ley General del Ambiente. Lima, 15 de octubre. Consulta: 22 de Mayo de 2016

<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>

CRITTENDEN, J.C., TRUSSELL, R. R., HAND, D. W. HOWE, K. J., & TCHOBANOGLOUS, G.

2012 *MWH'S Water Treatment: Principles and Design: Third Edition*. John Wiley and Sons.

CURRAN, Mary Ann.

2008 *Development of life cycle assessment methodology: a focus on co-product allocation*. Tesis de doctorado en la Erasmus University Rotterdam en el programa "Cleaner Products, Cleaner Production, Industrial Ecology and Sustainability"

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ)

2008 *Programa de Medidas de Rápido Impacto (PMRI) Desarrollando Capacidades (Julio 2006 – Julio 2008)*. Consulta 12 de Diciembre de 2015

[http://www.proagua.org.pe/files/9432faeaf276d2f2b24c464b1957ec96/Memoria\\_PMRI\\_2.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/9432faeaf276d2f2b24c464b1957ec96/Memoria_PMRI_2.pdf)

DU, F., WOODS, G. J., KANG, D., LANSEY, K. E., & ARNOLD, R. G.

2013 "Life Cycle Analysis for Water and Wastewater Pipe Materials". *Journal Of Environmental Engineering*. pp. 703-711.

DREYER, Louise, NIEMANN, Anne & HAUSCHILD, Michael

2003 "Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Ecoindicator 99". *The International Journal of Life Cycle Assessment*. pp. 191-200.

DUDA, Mark & SHAW, Jane

1997 "Life Cycle Assessment". *Society*. 35 (1) pp. 38-43.

#### EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS (EPS) MOQUEGUA

2000 *Manual de Operación y Mantenimiento – Planta de Tratamiento de Agua Chen Chen*. Moquegua.

2006 *Plan Maestro Optimizado 2006 – 2035*. Consulta 25 de Enero de 2015

[http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/sunass/politicas-y-normas/doc\\_download/3139-eps-moquegua-s-r-ltda-plan-maestro-optimizado-primer-quinquenio](http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/sunass/politicas-y-normas/doc_download/3139-eps-moquegua-s-r-ltda-plan-maestro-optimizado-primer-quinquenio).

2009 *Informe de Gestión 2008*. Moquegua. Consulta: 23 de Febrero de 2016

[http://www.epsmoquegua.com.pe/Rendcta/situacion\\_EPS\\_dic08.doc](http://www.epsmoquegua.com.pe/Rendcta/situacion_EPS_dic08.doc)

2010 *Memoria Institucional 2010*. Moquegua. Consulta: 10 de Junio de 2016

<http://epsmoquegua.com.pe/userfiles/file/MEMORIA%20ANUAL%202010.pdf>

2011a *Memoria descriptiva de la infraestructura de los sistemas de agua potable y alcantarillado al 31 de diciembre 2011*. Moquegua. Consulta: 14 de Noviembre de 2015

<http://www.epsmoquegua.com.pe/Operaciones/MEMORIA%20SISTEMA%20EPS%20PAG.%20WEB%20A.pdf>

2011b *Memoria Institucional 2011*. Moquegua. Consulta: 10 de Junio de 2016

<http://www.epsmoquegua.com.pe/MemoriaAnual/Memoria%202011%20.pdf>

2013 *Memoria Institucional 2013*. Moquegua. Consulta: 10 de Junio de 2016

<http://www.epsmoquegua.com.pe/MemoriaAnual/MEMORIA%202013.pdf>

2014 *Memoria Institucional 2014*. Moquegua. Consulta: 10 de Junio de 2016

[http://190.117.221.25/eps-pw/getf.v2.php?t=pdf&f=admin/dbfiles/det\\_contenido/1436244743.pdf](http://190.117.221.25/eps-pw/getf.v2.php?t=pdf&f=admin/dbfiles/det_contenido/1436244743.pdf)

FINKBEINER, M.

2013 “From the 40s to the 70s-the future of LCA in the ISO 14000 family”.  
*International Journal of Life Cycle Assessment*. pp. 1-4.

FINNVEDEN,G., HAUSCHILD, M.Z., EKVALL, T., GUINEE,J., HEIJUNGS, R.,  
HELLWEG, S., KOEHLER, A., PENNINGTON, D. & SUH, S.

2009 “Recent developments in Life Cycle Assessment”. *Journal of Environmental  
Management*. pp. 1-21.

FRIEDRICH,E & BUCKLEY, CA

2002 “The use of life cycle assessment in the selection of water treatment  
processes.” *Water Research Commission (WCR)*. Report 1077/1:02

FURUHOLT, Edgar

1995 “Life cycle assessment of gasoline and diesel”. *Resources, Conservation &  
Recycling*,14 (4), pp 251 – 263.

GAYLE, Abby

1990 *Environmental Labeling: Life Cycle Analysis Approach to Product Evaluation  
and Comparison*. Tesis correspondiente al grado de Maestría en Ciencias de  
la Salud Pública.

[http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.405.3690&rep=rep  
1&type=pd](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.405.3690&rep=rep1&type=pd)

GODSKESEN,B.,ZAMBRANO, K. C., TRAUTNER, A., THIESSON, L., RYGAARD,  
M., & NEIDE, T. L.

2010 “Life cycle assessment of three water systems in Copenhagen - a  
management tool of the future”. (2010). *Water Science & Technology: Water  
Supply*. 10(6),pp. 953-960.

GOEDKOOP,Mark; HEIJUNGS, Reinout; HUIJBREGTS, Mark; DE SCHRYVER,An;  
STRUJIS, Jaap; VAN ZELM, Rosalie.

2009 *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method wich comprises  
harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level.  
Report I: Characterisation*. Comission from the Ministry of Housing, Spatial  
Planning and Environment.

GUNDERSON, Lance & HOLLING, C.S

2002 “Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems”.  
Washington, DC.: Island Press

HERSTEIN, L., FILION, Y., & HALL, K.

2009 “Evaluating Environmental Impact in Water Distribution System Design.” *Jo  
Infrastruct. Syst.* pp. 241–250.

HSIEN-CHUN, Ke & HSIN-HSIN, Tung

2015 “Disinfection byproduct formation kinetics of a water treatment plant on  
Kinmen Island” *Water Science and Technology: Water Supply.* 15 (6). pp.  
1200–1206.

INCOPA

2014 “Life Cycle Analysis of Leading Coagulants: Executive Summary”. Karlsruhe  
Institute of Technology (KIT) por Dr. Ing. Justyna Homa and Prof.h.c. Dipl.-  
Ing.Erhard Hoffmann

[http://www.incopa.org/publications/INCOPA%20LCA%20Executive%20Sum  
mary%20web.pdf](http://www.incopa.org/publications/INCOPA%20LCA%20Executive%20Summary%20web.pdf)

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI)

2014 “Estado de la Población Peruana 2014”. Consulta 12/06/2015

[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Li  
b1157/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1/b1157/libro.pdf)

2015 Instituto Nacional de Estadística e Informática: Población 2000-2015.  
Consulta 14/06/2015

<http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>

IRIS, B.

2003 “El Análisis del Ciclo de Ciudad y la Gestión Ambiental”. *Instituto de  
Investigaciones Electricas.* Boletín IIE, julio-septiembre.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION (ISO)

1998 “ ISO 14041: Environmental management – Life cycle assessment – goal  
and scope definition- inventory analysis”. Geneva, Switzerland

2006a “ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – principles and framework”. Geneva, Switzerland

2006b “ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – requirements and guidelines”. Geneva, Switzerland

IWA

2002 “Water Recycling and Resource Recovery in Industry. Analysis, technologies and implementation”. Editado por LENS, Piet; HULSHOFF, Look; WILDERER, Peter y ASANO; Takashi. IWA Publishing. London.

JOLLIET, O., MULLER-WENK, R., BARE, J., BRENT, A., GOEDKOOP, M., HEIJUNGS, R., ITSUBO, N., ET AL.

2004 “The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative”. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Pp. 394-404.

KATZ, Jack

1983 “A theory of qualitative methodology: The social science system of analytic fieldwork”. *Contemporary Field Research*. Boston, Little Brown.

KLÖPPFFER, Walter

2005 “The Role of SETAC in the Development of LCA”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, volumen 11, suplemento de la primera edición, pp.116-122. Consulta: 05 de Junio 2015

<http://link.springer.com/article/10.1065%2Fica2006.04.019>

LEMOS, D., DIAS, A. C., GABARRELL, X., & ARROJA, L.

2009 “Environmental assessment of an urban water system”. *Journal of Cleaner Production*. pp. 157-165

LYONS, E., ZHANG, P., BENN, T., SHARIF, F., LI, K., CRITTENDEN, J., & CHEN, Y. S.

2009 “Life cycle assessment of three water supply systems: importation, reclamation and desalination”. *Water Science & Technology: Water Supply*. pp. 439-448

LUNDIE, Sven, PETERS, Gregory & BEAVIS, Paul

2004 “Life cycle assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning”. *Environmental Science & Technology*. 38 (13). pp. 3465-3473

2005 “Quantitative systems analysis as a strategic planning approach for metropolitan water systems providers”. *Water Science & Technology*. 52 (9). pp. 11-20

MATTHEWS, Scott, HENDRICKSON, Chris; MATTHEWS, Deann

2014 Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter. Consulta 30 de Abril de 2015

[www.lcatextbook.com](http://www.lcatextbook.com) Life

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO

2012 Decreto Supremo N°016-2012-VIVIENDA. Lima, 25 de setiembre.

MINISTERIO DE SALUD (MINSa)

2011 Decreto Supremo N°031-2010-SA. Lima, febrero. Consulta: 03 de febrero de 2016

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento\\_calidad\\_agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf)

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US)

2011 “Safe Drinking Water Committee. Drinking Water and Health: Disinfectants and Disinfectant By-Products”. National Academies Press (US). Consulta: 03 de febrero de 2016

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK217999/>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)

2000 *Informe final de la evaluación de la Planta de Tratamiento de agua de Moquegua*. Consulta 02 de diciembre de 2014

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd33/lidia02.pdf>

- 2006 “Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición”. Ginebra, Suiza. Consulta 08 de diciembre de 2015  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)

## OSINERG

- 2008 “Generación de energía en el Perú”  
<http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

## POWELL, Jane; PEARCE, David y BRISSON, Inger.

- 1995 “Valuation for life cycle assessment of waste management options”. United Kingdom. Consulta: 18 de Enero de 2016  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.1209&rep=rep1&type=pdf>

## PRé Consultants, various authors

- 2013 *Introduction to LCA with SimaPro*. Consulta: 10 de Marzo de 2015  
<https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>
- 2014 *SimaPro Database Manual. Methods library*. PDF File.

## PROGRAMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (PROAGUA)

- 2008 “Programa de Medidas de Rápido Impacto (PMRI). Desarrollando Capacidades (Julio 2006 – Julio 2008)”.Lima

## ROMERO, Blanca

- 2013 “Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental”. *Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas, Tendencias Tecnológicas*. pp. 91 – 97. Consulta: 08 de Febrero de 2015  
<http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf>

## SETAC Globe

- 2011 “SETAC and Life Cycle Assessment: Parallel Growth”. En *SETAC GLOBE. Environmental Quality Through Science*. Consulta: 06 de Junio de 2015.  
<http://globe.setac.org/2011/april/LCA.html>

SHARAAI, H. A., MAHMOOD, Z. N. & SULAIM, A.

2011 “Life cycle impact assessment (LCIA) using EDIP 97 method: An analysis of potential impact from potable water production”. *Academic journals*. pp. 5658-5670. Consulta: 08 de Julio de 2015

<http://www.academicjournals.org/SRE>. Malaysia

2012 “Uncovering the relation between environmental damage and the rate of rainfall received through a Life Cycle Assessment (LCA) study on potable water production in Malaysia”. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. Croatia, pp. 219 -236

SUNASS

2014a *La EPS y su desarrollo*. Datos 2013

[http://www.sunass.gob.pe/doc/eps\\_desarrollo\\_2013.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/eps_desarrollo_2013.pdf)

2014b *La EPS y su desarrollo*. Datos 2014

<http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/indicadores-de-desempeno/74-sunass/eps/documentos-de-gestion/indicadores-de-gestion/benchmarking/595-las-eps-y-su-desarrollo-2014>

2014c Benchmarking regulatorio de la EPS. Datos 2013. Gerencia de Supervisión y Fiscalización.

TARANTINI, M y FERRI, F.

2001 “LCA of drinking and wastewater treatment systems of Bologna City: Final Results”. *4<sup>th</sup> Inter Regional Conference on Environmental*. International Commission on Irrigation and Drainage. Fortaleza, Brazil. Consulta: 08 de Abril de 2016

<http://www.bologna.enea.it/ambtd/aquasave/files/Documents/PaperLCA.pdf>

TARRÉS, María Luisa, VELA PEÓN, Fortino & SANCHEZ, Rolando

2013 “Observar, Escuchar y Comprender”. México, DF: El Colegio de México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. pp. 60 – 85

TAYLOR, S.J. & BODGAN, R

1986 “Introducción a los métodos cualitativos de investigación”. Paidós. México, DF. pp. 159 – 174

TILLMAN, Anne-Marie, EKVALL, Tomas, BAUMANN, Henrikke & RYDBERG, Tomas.

1994 “Choice of system boundaries in life cycle assessment”. *Journal of Cleaner Production*, 2, pp 21 – 29.

UNITED NATIONS (UN)

1987 *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Consulta: 14 de Julio de 2015.

<http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#IV>

VINCE, Francois; AOUSTIN, Emmanuelle, BRÉANT, Philippe; MARECHAL, Francois

2007 “LCA tool for the environmental evaluation of potable water production”. *Elsevier*. pp. 37 – 56.

VÁZQUEZ-ROWE, Ian, REYNA, Janet, GARCÍA-TORRES, Samy & KAHHAT, Ramzy

2015 “Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes?”. *Applied Energy*, 159, pp. 108 – 116.

WELFORD, Richard

1993 “Business Strategy and the Environment”, volume 2, edición 4, pp. 25 -33. Consulta: 20 de Mayo de 2015

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.3280020404/abstract>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO)

2011 *Scientific Assessment of Ozone Depletion:2010, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 52*. World Meteorological Organization.