

DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO PARA LOS PROCESOS DE
POTABILIZACIÓN EN LAS PLANTAS EL PORTICO Y CARMEN DE
TONCHALA EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A ESP.

PROYECTO PARA OPTAR POR EL
TITULO DE INGENIERIA AMBIENTAL

GERMAN ANDRÉS DIAZ GELVES
1.094.278.213

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA
2018

DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO PARA LOS PROCESOS DEⁱⁱ
POTABILIZACIÓN EN LAS PLANTAS EL PORTICO Y CARMEN DE
TONCHALA EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A ESP.

PROYECTO PARA OPTAR POR EL
TITULO DE INGENIERIA AMBIENTAL

GERMAN ANDRÉS DIAZ GELVES
1.094.278.213

Ing. JULIO ISAAC MALDONADO
M.Sc. en Ingeniería Ambiental
Director

Ing HECTOR URIEL RIVERA
M.Sc. en Ingeniería Ambiental
Codirector

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA
2018

Dedicatoria

iv

A Dios, primordialmente por darme la sabiduría, paciencia y energías para terminar esta etapa en mi vida.

A mis dos madres, por tan inmenso amor y apoyo ofrecido a lo largo de mi existencia, mis hermanas por la compañía infinita brindada, a mis 2 bendiciones que sin su agradable presencia esta travesía no sería tan alegre. A mi padre, por creer en mi desde el primer día y poseer una fe inquebrantable a su primogénito. Y a todas aquellas personas que conocí en el camino, que mucho o poco me brindaron una enseñanza, consejo y ayuda.

Agradecimientos

v

A la Universidad de Pamplona por abrir sus puertas a todos aquellos estudiantes con hambre de cumplir sus sueños y formarse como profesionales.

Agradezco principalmente a mi director es de trabajo de grado Msc. Julio Isaac Maldonado y Msc. Héctor Uriel Rivera, quienes aportaron en mi guía, juicio, conocimiento y un gusto aún más grande por mi vocación, por la disposición prestada en el momento de ejecutar este proyecto y la confianza depositada en mí.

A todo el cuerpo Docente que intervinieron y me aportaron en mi formación como profesional.

Tabla de Contenidos

vi

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 Generalidades | 1 |
| Introducción | 1 |
| Planteamiento del Problema | 2 |
| Justificación | 3 |
| Objetivos | 4 |
| Objetivo General | 4 |
| Objetivos Específicos | 4 |
| Capítulo 2 Marco Referencial | 5 |
| Marco Contextual | 5 |
| Descripción física de Cúcuta – Norte de Santander | 5 |
| Límites de Cúcuta | 5 |
| Área de Estudio | 6 |
| Marco Teórico | 8 |
| Contaminación Atmosférica | 8 |
| Cambio Climático | 9 |
| Gases de Efecto Invernadero | 9 |
| Potencial de Calentamiento Global (PCG) | 10 |
| Análisis de ciclo de vida (ACV) | 11 |
| Huella Ecológica | 13 |
| Huella de Carbono | 13 |
| Marco Legal | 15 |
| Antecedentes | 17 |
| Internacionales | 17 |
| Nacionales | 18 |
| Capítulo 3 Metodología | 19 |
| Análisis de Ciclo de Vida | 19 |
| <i>Fase I. Definición de objetivo y alcance.</i> | 19 |
| <i>Fase II. Análisis de inventario (ICV).</i> | 20 |
| <i>Fase III. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EIVC).</i> | 20 |
| <i>Fase IV. Interpretación</i> | 21 |
| <i>Software para el desarrollo del ACV.</i> | 22 |
| Huella de Carbono | 22 |
| Límites organizacionales | 23 |
| Límites operacionales | 24 |
| Selección año base | 26 |
| Identificación y cálculo de emisiones GEI | 26 |
| Capítulo 4 Resultados y Análisis | 27 |
| Caracterización de las PTAP | 27 |
| Componentes del Sistema Río Pamplonita | 27 |
| Componentes del Sistema Río Zulia | 34 |
| Maquinaria e insumos | 40 |
| Agua captada | 40 |
| Agua producida | 41 |
| Insumos | 43 |

| | |
|---|-------|
| Maquinaria | 51vii |
| Electricidad | 61 |
| Análisis ciclo de vida | 63 |
| I. Definición de objetivo y alcance..... | 63 |
| II. Análisis de Inventario | 68 |
| III. Evaluación del Impacto..... | 70 |
| IV. Interpretación del Análisis del Ciclo de Vida | 71 |
| Resultados del impacto ambiental..... | 72 |
| Resultados Impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016 | 72 |
| Resultados Impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017 | 77 |
| Resultados Impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016 | 82 |
| Resultados Impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017 | 88 |
| Comparación entre insumos usados durante los años 2016 y 2017 | 93 |
| Comparación entre PTAP | 96 |
| Huella de Carbono | 98 |
| Limites Organizacionales..... | 98 |
| Limites Operacionales..... | 98 |
| Selección de año base | 98 |
| Clasificación de alcances | 98 |
| Estrategias de compensación y mitigación | 103 |
| Reducción en consumo y sustitución de insumos | 104 |
| Tratamiento de lodos..... | 105 |
| Compensación con sumideros de CO ₂ | 106 |
| Conclusiones | 107 |
| Recomendaciones..... | 109 |
| Bibliografía | 110 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 1 | Potencial de Calentamiento Global a 100 años | 11 |
| Tabla 2 | Especificaciones Aducción de Río Pamplonita | 29 |
| Tabla 3 | Conducción Desarenadores-Presedimentador | 30 |
| Tabla 4 | Agua Captada Planta El Pórtico en metros cúbicos..... | 40 |
| Tabla 5 | Agua Captada Planta Carmen de Tonchala en metros cúbicos | 40 |
| Tabla 6 | Total de Metros Cúbicos de Agua Captados | 41 |
| Tabla 7 | Agua Producida Planta El Pórtico en metros cúbicos..... | 41 |
| Tabla 8 | Agua Producida Planta Carmen de Tonchala en metros cúbicos | 42 |
| Tabla 9 | Total de Metros Cúbicos de Agua Producidos | 42 |
| Tabla 10 | Consumo de Insumos Planta El Pórtico para el año 2016 | 43 |
| Tabla 11 | Consumo de Insumos Planta El Pórtico para el año 2017 | 44 |
| Tabla 12 | Consumo de Insumos Planta Carmen de Tonchala para el año 2016 | 47 |
| Tabla 13 | Consumo de Insumos Planta Carmen de Tonchala para el año 2017 | 48 |
| Tabla 14 | Maquinaria usada en el proceso de potabilización en la PTAP El Pórtico | 51 |
| Tabla 15 | Maquinaria usada en el proceso de potabilización en la PTAP Carmen de Tonchala... .. | 57 |
| Tabla 16 | Consumo de Energía Eléctrica PTAP El Pórtico año 2016 | 61 |
| Tabla 17 | Consumo de Energía Eléctrica PTAP El Pórtico año 2017 | 61 |
| Tabla 18 | Consumo de Energía Eléctrica PTAP Carmen de Tonchala año 2016 | 62 |
| Tabla 19 | Consumo de Energía Eléctrica PTAP Carmen de Tonchala año 2017 | 62 |
| Tabla 20 | Inventario de fuentes primarias y secundarias para la PTAP El Pórtico | 69 |
| Tabla 21 | Inventario de fuentes primarias y secundarias para la PTAP Carmen de Tonchala | 70 |
| Tabla 22 | Resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016 | 72 |
| Tabla 23 | Otros resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016 | 75 |
| Tabla 24 | Resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017 | 77 |
| Tabla 25 | Otros resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017 | 80 |
| Tabla 26 | Resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016..... | 82 |
| Tabla 27 | Otros resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016 | 85 |
| Tabla 28 | Resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017 | 88 |
| Tabla 29 | Otros resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017 | 91 |
| Tabla 30 | Comparación entre insumos y flujos PTAP El Pórtico año 2016 vs 2017 | 93 |
| Tabla 31 | Comparación entre insumos y flujos PTAP Carmen de Tonchala año 2016 vs 2017 | 95 |
| Tabla 32 | Resultados de impacto ambiental global por PTAP y año..... | 96 |
| Tabla 33 | Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP El Pórtico 2016 | 99 |
| Tabla 34 | Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP El Pórtico 2017 | 99 |
| Tabla 35 | Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP Carmen de Tonchala 2016 | 100 |
| Tabla 36 | Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP Carmen de Tonchala 2017 | 100 |
| Tabla 37 | Emisiones indirectas (Energía) PTAP El Pórtico 2016 | 101 |
| Tabla 38 | Emisiones indirectas (Energía) PTAP El Pórtico 2017 | 101 |
| Tabla 39 | Emisiones indirectas (Energía) PTAP Carmen de Tonchala 2016 | 101 |
| Tabla 40 | Emisiones indirectas (Energía) PTAP Carmen de Tonchala 2017 | 101 |
| Tabla 41 | Alcances por PTAP | 102 |

| | |
|--|------------|
| <i>Figura 1 Metodología general Análisis ciclo de vida</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 2 Metodología general para Medición de Huella de Carbono</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 3 Insumos consumidos PTAP El Pórtico año 2016</i> | <i>45</i> |
| <i>Figura 4 Insumos consumidos PTAP El Pórtico año 2017</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 5 Insumos consumidos PTAP Carmen de Tonchala año 2016</i> | <i>49</i> |
| <i>Figura 6 Insumos consumidos PTAP Carmen de Tonchala año 2017</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 7 Diagrama de Flujo PTAP El Pórtico</i> | <i>65</i> |
| <i>Figura 8 Diagrama de Flujo PTAP Carmen de Tonchala</i> | <i>66</i> |
| <i>Figura 9 resultados impacto ambiental PTAP el Pórtico año 2016 (Kg CO₂-eq)</i> | <i>74</i> |
| <i>Figura 10 otros impactos ambientales PTAP el Pórtico año 2016</i> | <i>76</i> |
| <i>Figura 11 Resultados impacto ambiental PTAP el Pórtico año 2017 (Kg CO₂-eq)</i> | <i>79</i> |
| <i>Figura 12 Otros impactos ambientales PTAP el Pórtico AÑO 2017</i> | <i>81</i> |
| <i>Figura 13 Resultados impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016 (Kg CO₂-eq) ..</i> | <i>84</i> |
| <i>Figura 14 Otros impactos ambientales PTAP Carmen de Tonchala año 2016</i> | <i>87</i> |
| <i>Figura 15 Resultados impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017 (Kg CO₂-eq) ..</i> | <i>90</i> |
| <i>Figura 16 Otros impactos ambientales PTAP Carmen de Tonchala año 2017</i> | <i>92</i> |
| <i>Figura 17 Comparación entre insumos y flujos PTAP El Pórtico año 2016 VS 2017</i> | <i>94</i> |
| <i>Figura 18 Comparación entre insumos y flujos PTAP Carmen de Tonchala año 2016 VS 2017</i> | <i>95</i> |
| <i>Figura 19 comparación entre PTAP por metodologías aplicadas</i> | <i>97</i> |
| <i>Figura 20 Alcance por PTAP</i> | <i>103</i> |

Capítulo 1 Generalidades

Introducción

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son un problema que abarca completamente el contexto ambiental, los cuales, son generados por las actividades antropogénicas y el desarrollo comercial e industrial. A lo largo de los últimos años, la preocupación por estos gases y su efecto en el planeta, ha incentivado buscar alternativas de control y mitigación que ayuden a resolver las consecuencias que han surgido a raíz de las emisiones. Para ello, se ideó el método denominado “Medición de Huella de Carbono”, que permite caracterizar las fuentes de emisión que se generan, ya sea en un hogar, comunidad o empresa, donde posteriormente se cuantifican la cantidad de GEI en unidades de CO₂ equivalente.

La medición de Huella de Carbono en empresas y comunidades es más compleja, debido a la cantidad de procesos y variables a considerar en comparación a la de un hogar. Una manera que facilita el modo de abordar esto, es haciendo uso del “Análisis de Ciclo de Vida” (ACV), a fin de identificar los procesos involucrados en cada una de las etapas necesarias en la elaboración de un producto. Existen diversas metodologías usadas en la actualidad, de acuerdo a la finalidad del problema en cuestión, la más acorde a los propósitos de la Huella de Carbono, es la IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change), centrándose en la categoría de impactos de Cambio climático.

En esta investigación se utilizó la metodología propuesta por la ISO 140064 y el Protocolo GHG, para la medición de huella de carbono en los procesos de potabilización de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala” en la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A ESP; donde se pretende determinar la cantidad de CO₂ equivalente que se está generando por estos sistemas.

Planteamiento del Problema

Los constantes cambios producidos por el aumento de las concentraciones de los GEI han generado alteraciones debido a que estos gases retienen una parte de la energía emitida por la radiación solar y el suelo, originando lo que se denomina cambio climático. Los principales gases implicados son el vapor de agua, dióxido de carbono, Metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos y ozono troposférico, estos son producidos de manera natural por todos los seres vivos. Existen otros como los halocarbonos, el hexafluoruro de azufre, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos producidos por el hombre en actividades industriales.

Los procesos que realizan las empresas prestadoras de servicios públicos pueden tener un gran nivel de industrialización, en la mayoría de los casos contaminando el ambiente con el uso de combustibles fósiles en las diferentes maquinarias usadas, la adquisición de insumos que necesitan para realizar sus procesos y el consumo de energía eléctrica en sus respectivas actividades, entre otras acciones que pueden incurrir en las emisiones de GEI.

Para encontrar soluciones que disminuyan las problemáticas de la entidad, es primordial realizar un estudio donde se identifiquen las fuentes de emisión más importantes, siendo necesario la cuantificación de la huella de carbono a fin de determinar la cantidad de gases producidos por cada proceso, y así, intervenir de manera efectiva sobre los puntos de mayor impacto.

Es por ello que es necesario realizar la presente investigación dando respuesta a la siguiente pregunta:

¿QUÉ CANTIDAD DE CARBONO “C” ES EMITIDO EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE LAS PTAP “EL PORTICO” Y “CARMEN DE TONCHALA” EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL S.A ESP CÚCUTA?

Justificación

Aguas Kpital S.A ESP al ser una organización que vela por la calidad y eficiencia en los servicios que presta a la población Cucuteña, está en la responsabilidad social, ambiental y moral de encontrar alternativas de mitigación a las emisiones de GEI que son generadas por las diferentes actividades.

Esta organización en su búsqueda de mejora continua y ser amigable con el medio ambiente busca definir la cantidad de emisiones de GEI que son producidas en los servicios que ofrece, con la finalidad de implementar las alternativas más eficientes que permitan de una manera real, disminuir la cantidad de emisiones de estos gases, además de los posibles ahorros en costos que puede con llevar la reducción de emisiones en el sistema productivo. Asimismo, el realizar los inventarios de emisiones de GEI y la medición de la huella de carbono ayuda a fomentar una imagen corporativa comprometida con sus usuarios y trabajadores, la cual busca proteger la seguridad y salud de los mismos, e incentivar una cultura y compromiso en la prevención y control de los recursos naturales.

Objetivos

Objetivo General.

Determinar la Huella de Carbono para los procesos de potabilización en Aguas Kpital Cúcuta S.A ESP, mediante el Análisis de Ciclo de Vida.

Objetivos Específicos.

- Caracterizar las actividades y procesos que son llevados a cabo en las plantas de tratamiento de agua potable “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala”.
- Realizar el Análisis de Ciclo de Vida para los procesos de potabilización.
- Establecer la Huella de Carbono que se genera por la potabilización en las PTAP a cargo de la empresa prestadora del servicio.
- Elaborar estrategias de mitigación para la cantidad de Gases de Efecto Invernadero que se están produciendo.

Capítulo 2 Marco Referencial

Marco Contextual

Descripción física de Cúcuta – Norte de Santander

Cúcuta está ubicada en las coordenadas 72°30' de longitudinal al oeste de Greenwich y a 7° y 53' de la latitud norte. Se encuentra situada entre los 80 a los 1.600 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) con una altitud media de 320 m.s.n.m. (Ilustración 1). Tiene un área total de 1176 km².

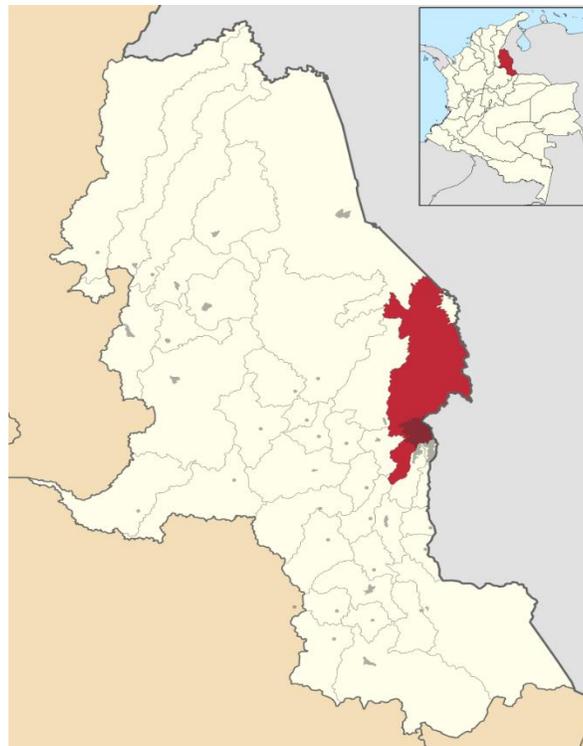


Ilustración 1 Ubicación de Cúcuta - Norte de Santander
Fuente: Alcaldía de Cúcuta, 2018.

Límites de Cúcuta

- Limite al Norte: Tibú.
- Limite al Occidente: Zulia y San Cayetano.
- Limite al Sur: Villa del Rosario, Bochalema y Los Patios.
- Limite al Oriente: Venezuela y Puerto Santander.

Área de Estudio

Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Pórtico”

Localización

La Planta de Tratamiento El Pórtico se encuentra ubicada en la ciudad de Cúcuta, en el Corregimiento de San Pedro, Vereda el Pórtico en latitud N 7° 50' 44.9" y longitud O 72° 31' 6.51". (Ilustración 2 y 3)

Fuente De Abastecimiento

- Río Pamplonita, que nace en el Páramo de Fontibón a 3200 msnm
- Desemboca en el Río Zulia cerca de Puerto Villamizar a una altura de 150 msnm en un recorrido aproximado de 145 kilómetro con una pendiente media de 1.2%
- Dentro del recorrido presenta aproximadamente las siguientes pendientes:
 - Entre Pamplona y el Diamante el 6%
 - Entre el Diamante y la Garita (Bocatoma) 4%
 - Entre la Garita al Río Zulia el 0.2%
- Caudal promedio del Río es de 4.5 m³/s (aforo de la E. I. S.)



Ilustración 2 PTAP El Pórtico
Fuente: Google Maps, 2018

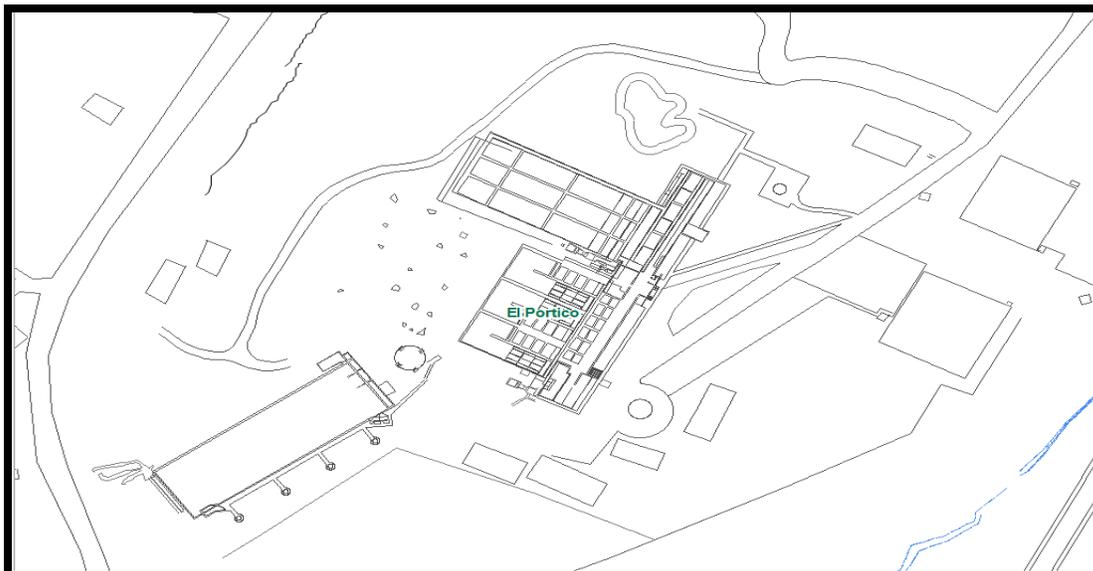


Ilustración 3 Vista Esquemática PTAP El Pórtico
Fuente: Ficha Técnica PTAP El Pórtico, Aguas Kpital, 2017

Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “Carmen de Tonchala”

Localización

La Planta de Tratamiento El Carmen de Tonchala se encuentra ubicada en la Vereda San Isidro del municipio de San Cayetano en la cota 347.70 msnm. en latitud N 7° 50' 19.6" y longitud O 72° 35' 12.7". (Ilustración 4 y 5)

Fuente De Abastecimiento

- El Río Zulia.



Ilustración 4 PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Google Maps, 2018

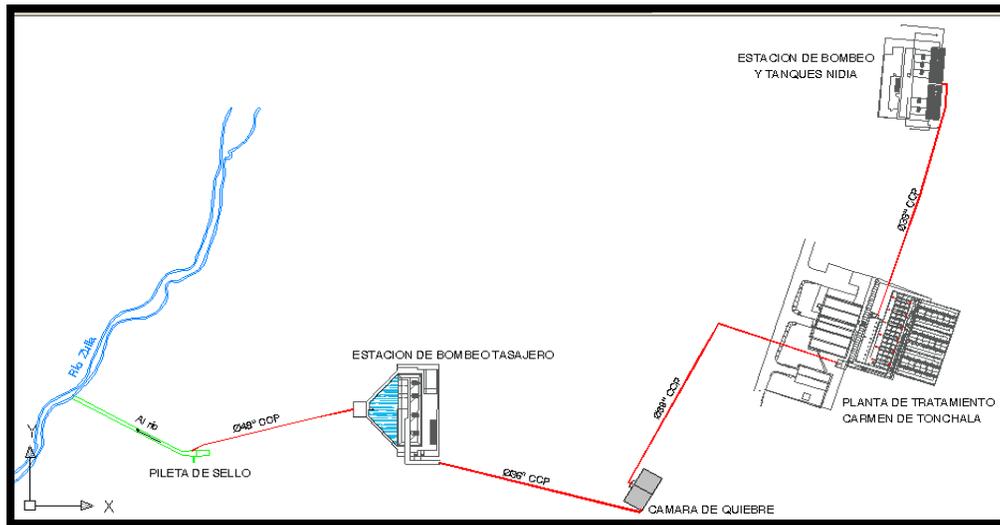


Ilustración 5 Vista Esquemática PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Ficha Técnica PTAP El Pórtico, Aguas Kpital, 2017

Marco Teórico

Para esta investigación se han tomado en consideración fundamentos científicos que se han usado como base para el desarrollo de este trabajo, los cuales han sido tomados de revistas científicas, publicaciones de internet, investigaciones afines y libros.

Contaminación Atmosférica

De acuerdo al Ministerio de Ambiente la contaminación atmosférica es la presencia de pequeñas partículas en el aire que pueden incurrir en riesgo, daño o molestia para las personas, fauna y flora que se encuentra expuesta a dicho ambiente.

Los contaminantes atmosféricos son aquellas materias o formas de energía que no están de manera natural en la atmósfera o que sí están presentes, pero en unas concentraciones diferentes. Se pueden clasificar los contaminantes en tres tipos: (González, 2014)

- **Gases:** Son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los clorofluorocarbonos (CFC), entre otros.
- **Partículas:** Proviene de humos o cenizas de las combustiones, de los aerosoles, polvo de minas o ciertas industrias, etc.

- **Energía:** Se encuentran dentro de esta clasificación lo que conocemos como contaminación acústica, contaminación lumínica o contaminación electromagnética.

Dentro de los contaminantes, se puede diferenciar:

- **Contaminantes primarios:** son aquellos contaminantes procedentes directamente de las fuentes de emisión.
- **Contaminantes secundarios:** son aquellos que sufren interacciones con otros componentes de la atmósfera lo que los modifica, convirtiéndose en contaminantes, aunque antes no lo fueran.

Cambio Climático

Según lo estipulado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) se define como un cambio de clima ya sea de manera directa o indirecta la alteración de la composición de la atmósfera mundial y la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables, al mismo tiempo el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) lo establece como cualquier cambio en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) da una definición desde el punto de vista de la meteorología, el cual llama cambio climático a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático.

Gases de Efecto Invernadero

El efecto invernadero es originado debido a que la energía proveniente del sol está compuesta por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera, la energía remitida hacia el exterior de la tierra es absorbida por gases produciendo así dicho efecto; esta retención de energía es la que produce un aumento en la temperatura (Espíndola & Valderrama, 2018). Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. ("Gases Efecto Invernadero, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible", 2018)

De acuerdo a la Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático publicada por el IDEAM en el 2007 algunos de los gases conocidos como GEI son el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano, algunos halocarbonos (como los CFCs, HCFCs, HFCs y los PFCs), así como el ozono troposférico los cuales son producidos de manera natural y por actividades humanas. La excesiva acumulación de estos gases debido a la acelerada explotación de recursos, el uso constante de combustibles fósiles y a los cambios en el uso del suelo han generado una alteración al balance energético que se produce de manera natural en la atmósfera. Están clasificados en (IDEAM,2007):

- **GEI Directos:** Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados.
- **GEI Indirectos:** Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono.

Potencial de Calentamiento Global (PCG)

Según lo estipulado en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) el PCG es un factor que describe el impacto de la fuerza de radiación (grado de daño a la atmósfera) de una unidad de un determinado GEI en relación a una unidad de CO₂. (WRI & WBCSD, 2005)

Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un gas de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global se define como su Potencial de Calentamiento Global. (Potencial de calentamiento global. - Portal de Medio Ambiente, 2016)

La unidad de medida utilizada para indicar el potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero se denomina **CO₂ equivalente** (CO₂-eq). Esta unidad es la recomendada por el *Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático* en su publicación “*Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*” conocida como **IPCC-96**.

En la Tabla 1, se evidencian los Gases de Efecto Invernadero más comunes con su Potencial de Calentamiento Global a 100 años según la IPCC.

Tabla 1 Potencial de Calentamiento Global a 100 años

| Factores de Caracterización para la categoría de Calentamiento Global | | | |
|--|------------------|--|---------------------|
| Sustancia | | Factor de Caracterización (Kg eq. CO₂) | |
| | | IPCC | Ecoindicador |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 1 | 1 |
| Metano | CH ₄ | 21 | 11 |
| Óxidos nitroso | N ₂ O | 298 | 270 |
| Hidrofluoro-carbonos | CFCs | 124-14.800 | 100-13.000 |
| Hexafluoruro de azufre | SF ₆ | 22.800 | - |

Fuente: Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, 2014.

Editado por: Autor, 2018.

Análisis de ciclo de vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (esto es, de la cuna a la tumba). En los inicios de su uso se le denominaba también ecobalance o análisis del perfil ambiental. (Leiva, 2016)

Según la norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia) el Análisis de Ciclo de vida es definido como un procedimiento donde se examinan aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales que pueden ocurrir a largo plazo a causa de un producto, esto se realiza mediante:

- La recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto (producto/proceso en estudio)
- La evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario
- La interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.

Los ACV tienen diferentes variaciones de acuerdo al nivel de detalle que se decida llevar, ya que esto depende del objetivo a cubrir. Esto da lugar a tres tipos de ACV:

- **ACV conceptual.** Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales.
- **ACV simplificado.** Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomando sólo en consideración datos genéricos y abarcando el Ciclo de Vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados.
- **ACV completo.** Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

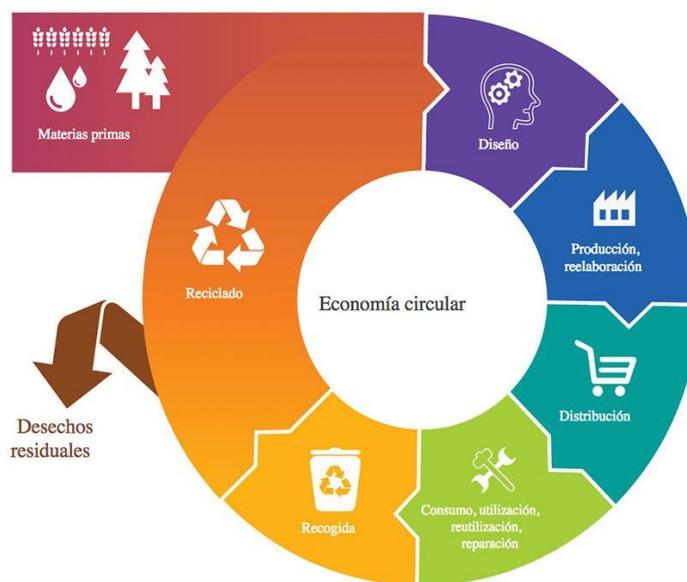


Ilustración 6 Etapas de Ciclo de Vida

Fuente: CloviPVC. (2018). ¿Qué es la economía circular? Obtenido de <https://www.clovipvc.com/ahorro-en-casa/que-es-la-economia-circular/>

De acuerdo a las etapas que conforman el ciclo de vida que se evidencian en la ilustración 6, se pueden dar diferentes alcances en el desarrollo de un ACV, siendo las más conocidas:

- **De la puerta a la puerta (Gate to gate):** considera únicamente las actividades (proceso productivo) de la empresa a la que se aplica.

- ***De la cuna a la puerta (Cradle to gate)***: toma en consideración desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- ***De la puerta a la tumba (Gate to grave)***: considera el proceso productivo de la empresa y abarca hasta la fase de gestión de los residuos a que da lugar el producto.
- ***De la cuna a la tumba (Cradle to grave)***: estudia desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos (reciclaje u otros).
- ***De la cuna a la cuna (Cradle to cradle)***: considera el ciclo de vida completo del producto, ya que abarca desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto, tras quedar fuera de uso, es reintroducido en el mismo proceso productivo o en otro.

Huella Ecológica

La huella ecológica es un indicador biofísico de sostenibilidad de carácter integrado en el que se relacionan las demandas de una determinada comunidad humana – país, región o ciudad – con la capacidad productiva y ecológica del territorio que ocupa o administra, considerando tanto los recursos necesarios, como los residuos generados para mantener el modelo de producción y consumo de dicha sociedad. ("Artículo: El concepto de huella ecológica - Portal de Medio Ambiente", 2018)

En otras palabras, la huella ecológica ayuda a determinar cuál es el área necesaria para satisfacer las necesidades de los recursos consumidos y la asimilación de los desechos generados.

La separación de la huella ecológica en sus componentes individuales demuestra como contribuye cada uno a la demanda global de la humanidad sobre el planeta (Jurado Bolaños & Lizcano Sandoval, 2015) la huella ecológica se forma con sub-huellas, siendo la más significativa en función de su impacto directo en el cambio climático, la huella de carbono tiene una participación alrededor del 50% en la huella ecológica (WWF, 2006).

Huella de Carbono

Es una herramienta que permite medir la producción de gases efecto invernadero por persona, sobre la porción de tierra capaz de absorberlo y retenerlo. Estos se derivan de la producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural (Universidad tecnológica de Pereira, 2011). La huella de carbono se obtiene al realizar la medición de GEI que se producen desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de residuos de una empresa, organización o ciudad, ya que a partir de dicha medición las organizaciones pueden establecer medidas para reducir los niveles de contaminación.

Debido al gran interés que ha generado los efectos del calentamiento global a causa de la acumulación de GEI en la atmósfera diferentes organizaciones han presentado metodologías de forma voluntaria con la finalidad de crear un estándar en la medición y cuantificación de la huella de carbono, buscando adaptarse a las necesidades de proyectos específicos. Cada una de estas metodologías están relacionadas de manera directa con el Protocolo de Kioto, buscando cumplir con las metas y objetivos trazados. Las metodologías que se han desarrollado a lo largo de los últimos años son estándares internacionales divididas en tres tipos (Jurado Bolaños & Lizcano Sandoval, 2015):

1. Guías generales: Las normas ISO que representan estándares de referencia para la medición de emisiones de GEI. Están basados en estándares y metodologías desarrollados previamente, y tienen como objetivo ser un marco reconocido de confianza a los operadores de proyectos de medición de emisiones de GEI. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2011)

- **ISO 14040:** Sobre Gestión Ambiental y Análisis de Ciclo de Vida.
- **ISO 14064. 2006:** Sobre gases de efecto invernadero.
- **ISO 14067:** Está inspirada en el PAS 2050.
- **ISO/WD 14069:** Precisa un nuevo estándar para la cuantificación de las emisiones de GEI de organizaciones (empresas, administraciones)

2. Guías específicas: para la contabilidad, cálculo y monitoreo de los gases de efecto invernadero.

- **GHG Protocol:** Los estándares de GreenHouse Gas Protocol fueron implementados en 2001 como un “marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas de cálculo de GEI” (The Greenhouse Gas Protocol, 2004).
- **Bilan Carbone:** Bilan Carbone es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés. Esta metodología está basada en un programa en formato Excel, acompañado de guías de utilización. Se caracteriza por disponibilidad de los factores de emisión (en muchos casos determinados por numerosos países en el mundo) y de las fórmulas utilizadas,

- garantizando transparencia (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2011)
- **PAS 2050:** El método fue elaborado en el 2007, esta iniciativa fue desarrollada por Carbon Trust, DEFRA y BSI para el Reino Unido, apunta a “aplicar LCA sobre una amplia variedad de productos en forma consistente para usuarios de la industria, enfocándose solamente en el indicador de Huella de Carbono”. (Carbon Trust, 2007). El PAS 2050 no consiste en un programa que incluye una base de datos de factores de emisión, como es el caso del Bilan Carbone, si no que se presenta como una guía metodológica que describe paso a paso los criterios a determinar y tomar en cuenta. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2011).
 - **PAS 2060:** Fue elaborado en 2009-2010 por los mismos organismos que el PAS 2050. Está dedicado al cálculo de las emisiones de organismos (administración, empresas, sitio de producción), colectividades territoriales y particulares. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2011).
 - **IPCC:** “Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) es el responsable por analizar la ciencia relacionada con el cambio climático a nivel global”. (IPCC, 2000). Las guías de IPCC proporcionan metodologías para estimar los inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuente y por remociones de GEI.
- 3. Herramientas de cálculo:** Son para actividades específicas como el transporte o el comportamiento del consumidor.

Marco Legal

En Colombia no es requisito fundamental realizar la medición de la Huella de Carbono, por este motivo la normativa del país no abarca completamente esta temática, solo existen preceptos de aplicación general que abordan de manera globalizada las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la cuantificación de la huella de carbono. Dada la naturaleza de las actividades de la empresa, es necesario tener en cuenta los aspectos legales que se ven involucrados en la cuantificación de las emisiones. Las normativas colombianas a considerar son:

- Ley 142 de 1994 - Ley de servicios públicos

- Ley 143 de 1994 - Ley de energía. Resolución 005/1996: Niveles permisibles de emisión de fuentes móviles terrestres. Reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel y define los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones.
- Resolución 1351/1995. Se adopta la declaración denominada informe de estado de emisiones.
- Decreto 948 de 1995 que establece las normas relativas a la prevención y control de la contaminación atmosférica, y la protección de la calidad del aire.
- Ley 629 de 2000: Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kioto el 11 de diciembre de 1997.
- Ley 697 de 2000, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la misma y se promueve la utilización de energías alternativas.
- Ley 693 de 2001, por medio de la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes y se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo.
- Decreto 1228 de 1997 por medio de cual se establece la certificación obligatoria de cumplimiento de normas de emisión para vehículos automotores modificando el Decreto 948 de 1995
- Resolución 909 de 2008 por medio de la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 1111 de 2013 por la cual modifica la Resolución 910 d 2008 donde se reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5947 del 2012 Especificación para el análisis de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de bienes y servicios
- El Estatuto Tributario Nacional 2017, donde se establecen exenciones y descuento para inversiones relacionadas con el mejoramiento ambiental, la importación de

equipos de control y mejoramiento ambiental, la reforestación y conservación de bosques.

Antecedentes

Internacionales

En 2009 Angela Druckman y Tim Jackson realizaron el estudio denominado “The carbon footprint of UK households 1990–2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model” el cual toma en cuenta todas las emisiones de CO₂ que surgen de la energía utilizada en la producción de bienes y servicios para satisfacer la demanda doméstica de Reino Unido para poder estimar las fuentes de emisión que mayor relevancia tienen en estas actividades.

Según García, Herrera y Rodríguez (2011) en su Informe Técnico Ciemat denominado “Análisis de Ciclo de vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en Morales, México” en el cual tenían como objetivo aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en dos sistemas: el efluente de agua residual municipal sin tratamiento y a una Planta de Tratamiento de Agua Residual Municipales (PTARM) que se encuentra operando de manera incorrecta para determinar el impacto ambiental de cada escenario, a través de la comparación de los impactos y la propuesta de mejoras para disminuirlo, siguiendo las etapas de la metodología ISO 14040/ISO 14044.

En el documento “Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for U.S. Households and Communities” de Christopher M. Jones y Daniel M. Kammen publicado en el 2011, los autores usan técnicas de contabilidad como el Análisis de ciclo de vida basados en el consumo de hogares en 28 ciudades de Estados Unidos, incluyendo transporte, energía, agua, desechos, alimentos, bienes y servicios a fin de establecer los impactos climáticos que ocurren a causa de las personas, los hogares y comunidades a fin de establecer las medidas respectivas que se pueden tomar de acuerdo a la ubicación geográfica en la que se encuentre.

Ki-Hoon Lee realizó una investigación para la empresa Hyundai Motor Company en el 2011 para mejorar la comprensión que se tiene sobre la huella de carbono en el contexto de la gestión de cadena de suministro de automóviles, dándole un enfoque de estudio empleado como método de investigación, dicha investigación tiene el nombre de “Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry”.

Diego Ruiz e Ignacio Zúñiga en su libro “Análisis de ciclo de vida y huella de carbono” publicado en el 2012, estipulan que el análisis de ciclo de vida es una herramienta que permite sistematizar la obtención de información ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. La huella de carbono es una evaluación del ciclo de vida en la que se

limita el análisis únicamente a aquellas emisiones que tienen efecto sobre el cambio climático.

En 2010 se publicó la investigación denominada “Estimación de Huella de Carbono de la Municipalidad de Barva” elaborada por Raúl Fonseca, Nancy Rodríguez y Steven Brenes, en el cual, usando la metodología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) adaptada a las condiciones de Costa Rica, cuantificaron las toneladas de dióxido de carbono generadas por la municipalidad de Barva.

Nacionales

De acuerdo a Luis Aranda (2011) las empresas colombianas deben tomar en serio el cambio climático; es menester que esta temática se despliegue a todos los sectores productivos del país y su responsabilidad no se centralice en las entidades estatales responsables de la protección ambiental y prevención de la contaminación, por esta razón realizo el trabajo “CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL AÑO 2009 CORRESPONDIENTE A LAS ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS Y DE TRANSPORTE DE PROACTIVA AGUAS DE MONTERÍA S.A. E.S.P. Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO”.

La “EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y HUELLA HÍDRICA, CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA” realizada en 2016 por la Alcaldía de Santiago de Cali busca complementar y apoyar las iniciativas municipales a través de la evaluación de la Huella de Carbono y Huella Hídrica a nivel de Gobierno Municipal Local (como institución) y a nivel de ciudad (geográfico), utilizando los resultados y conclusiones obtenidas para promover acciones de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI (en el marco de la mitigación) y gestión del agua (en el marco de la adaptación) a nivel municipal.

Rafael Araque (2015) en su tesis de maestría “VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA: CASO DE ESTUDIO PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA” donde analizan todos los procesos que se ven involucrados en los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo para estimar las concentraciones de CO₂ equivalente.

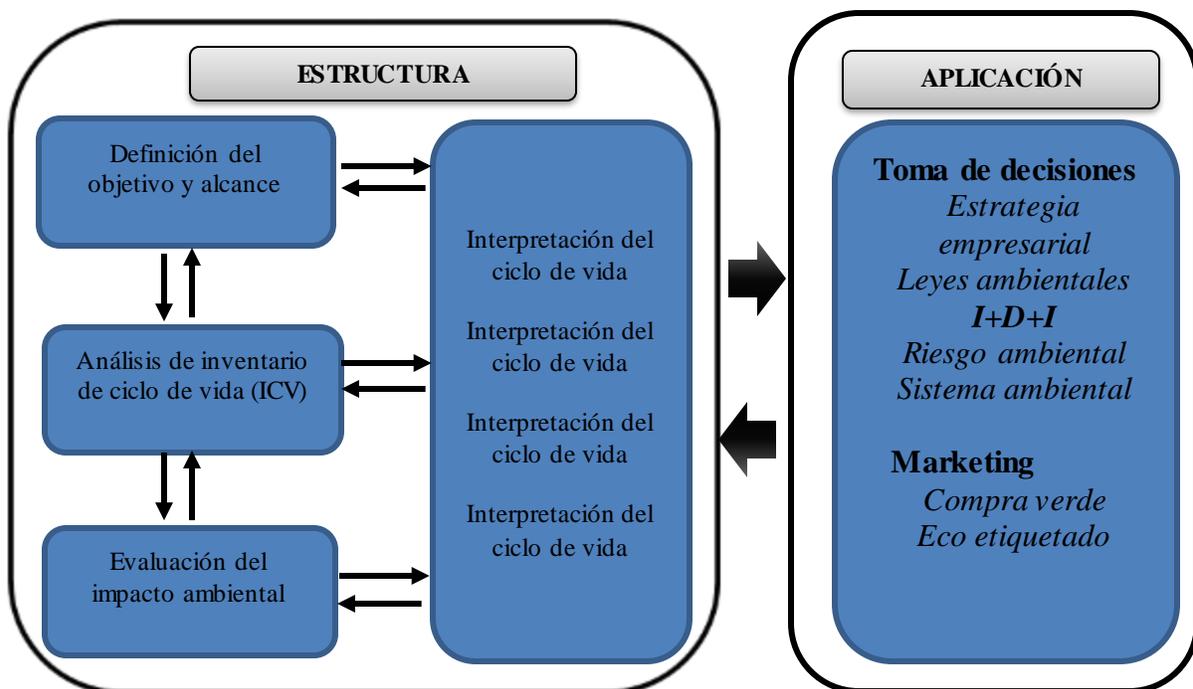
Capítulo 3 Metodología

Análisis de Ciclo de Vida

Etapas de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La descripción secuencial de un análisis de ciclo de vida completo presenta las fases que se muestran en el la Figura 1.

Figura 1 Metodología general Análisis ciclo de vida



Fuente: Norma UNE EN ISO 14040, 2006.

Editado por: Autor, 2018.

Fase I. Definición de objetivo y alcance.

En esta fase se definió el propósito de incluir la evaluación de los impactos ambientales, determinando el tipo de información necesaria, la exactitud de los resultados y como debe ser su interpretación.

El establecimiento del alcance queda definido por:

- ✓ Producto al que se aplicara el estudio, explicando sus características.

- ✓ Los límites del sistema que demarcan las operaciones a incluir para la toma de datos.
- ✓ Definición de las entradas y salidas del sistema que sean objeto de evaluación.

Los límites del sistema son determinados por factores como recursos económicos con los que se cuente, disponibilidad y veracidad en la información y la aplicación que se dé al estudio, entre otras. Además, también se pueden establecer geográficamente, temporalmente o con una exclusión de etapas del proceso. (Torrado, 2018)

Fase II. Análisis de inventario (ICV)

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida (Castillo et al, 2000). Para el análisis de inventario que se basó en las cuatro etapas que se mencionan a continuación:

1. Desarrollo de un diagrama de flujo para identificar los datos de entrada y salida del proceso de potabilización.
2. Selección de fuentes de información.
 - a) Fuentes primarias: La información se adquirirá en colaboración del equipo administrativo y técnico de la empresa Aguas Kapital Cúcuta SA ESP con la documentación.
 - b) Fuentes secundarias: Son las bases de datos, las cuales, proporcionan información necesaria para culminar la elaboración y análisis del inventario a través de programas informáticos o internet (p. e. Ecoinvent). Este proceso conlleva una inversión de tiempo considerable en base a la búsqueda de información necesaria para los procesos que se llevan a cabo. Los insumos recopilados en el inventario de fuentes primarias se referenciarán con la base de datos digital.
3. Evaluación de los procesos.
4. Obtención de resultados.

Fase III. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EIVC).

La evaluación del impacto en el ciclo de vida es un proceso técnico cualitativo o cuantitativo que permite caracterizar y evaluar los efectos de las cargas ambientales identificadas en la fase de inventario (UNEP, 1998; UNEP, 2000). La evaluación del impacto, permite establecer una relación, o vínculo entre un producto o proceso y sus impactos medioambientales potenciales.

A continuación, se presentan los pasos con los cuales se elaboró la evaluación del impacto de ciclo de vida:

- Selección y definición de categorías de impacto.
- Clasificación (asignación de los resultados del análisis de inventario a las categorías elegidas).
- Caracterización (modelado de los impactos del análisis del inventario en las categorías de impacto usando factores de conversión).
- Normalización (expresando los impactos potenciales en impactos que puedan ser comparados).
- Agrupación (organización y alineación de indicadores).
- Valoración (ponderando los más importantes impactos potenciales).

Se usarán las metodologías CML 2001, IPCC 2007, IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint (H) con el indicador de cambio Climático el cual es expresado en Kg CO₂ equivalente.

Fase IV. Interpretación

La interpretación en un análisis de ciclo de vida es una técnica sistemática para identificar, cuantificar, verificar y evaluar información de los resultados del inventario de ciclo de vida (LCI) y de la evaluación del impacto (LCIA), y comunicarlos eficazmente. (García, Herrera, & Rodríguez, 2011). La Organización Internacional para la Estandarización ha definido los dos siguientes objetivos de interpretación de ciclo de vida:

1. Analizar los resultados, concluir acerca del alcance, explicar las limitaciones y proporcionar recomendaciones basadas en los resultados de las fases precedentes de un ACV.
2. Proporcionar una presentación fácilmente entendible, completa y consistente de los resultados de un estudio de LCA, de acuerdo con los objetivos y alcances definidos para el estudio.

Software para el desarrollo del ACV

La cuantificación de los datos es bastante compleja y tomando en cuenta los avances en herramientas tecnológicas que permiten realizar de manera más eficiente la fase de EICV, una de las mejores formas de abordar un ACV es por medio de estos programas. Dichas herramientas tienen incorporadas bases de datos con las metodologías de EICV usadas en la obtención de los datos finales del ACV.

Para el caso de las metodologías de EICV, es recomendable que la herramienta sea capaz de trabajar con varias de ellas. Con esto se pretende: (Torrado, 2018)

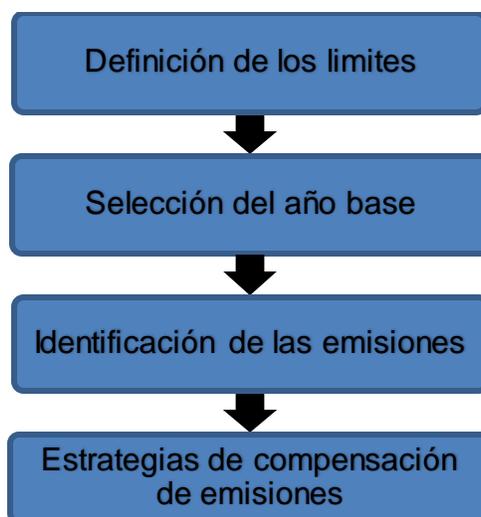
- Obtener resultados concretos a través de una metodología específica, como el cálculo de la huella de carbono a través de la metodología IPCC.
- Comparar los resultados que proporcionan diferentes metodologías para el cálculo del mismo impacto ambiental. Por medio de esta comparativa se puede enriquecer la interpretación de los resultados y permite evaluar la idoneidad o no de una metodología u otra.
- Manejar resultados tanto específicos como generales, como por ejemplo obtener resultados sobre el “consumo de energía” y las “emisiones de Kg eq. CO₂” por un lado, y por otro la carga ambiental del sistema analizado en “puntos”.

Debido a la facilidad que puede ofrecer una herramienta como estas en el momento de realizar el EICV, se usara el software LCA-Manager versión 1.7, empleando la base de datos Ecoinvent versión 3.1.

Huella de Carbono

La Huella de Carbono se puede determinar usando diferentes metodologías, sin embargo para este caso de estudio, se calculara por medio de “La Guía para el cálculo y reporte de Huella de Carbono Corporativa” desarrollada por la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la cual está basada en el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol), o Protocolo GHG, la norma NTC ISO 14064-1:2006, así como en la matriz definida en el marco del proyecto “Mecanismo para la mitigación voluntaria de gases efecto invernadero en Colombia – MVC” de la Corporación Ambiental Empresarial y la Fundación Natura, con apoyo de otros organismos.

Figura 2 Metodología general para Medición de Huella de Carbono



*Fuente: Guía Metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-2006, 2012
Editado por: Autor, 2018.*

Limites organizacionales

Determinación de Limites Organizacionales

En esta primera parte es posible utilizar 2 enfoques diferentes con el fin de consolidar las emisiones de GEI los cuales son:

- **Enfoque de participación accionaria:** Las emisiones son registradas según la proporción que tenga la empresa sobre las diferentes estructuras accionarias.
- **Enfoques de Control:** Se contabiliza el total de las emisiones de GEI de las operaciones en la cual la empresa ejerce control, no se incluyen emisiones de GEI de operaciones en la cual la empresa es propietaria o tiene alguna participación, pero no ejerce ningún tipo de control sobre la misma. Este control puede darse:
 - a. **Control financiero:** Cuando la empresa tiene facultad de dirigir sus políticas financieras y operáticas con el fin de obtener beneficios económicos de sus actividades.
 - b. **Control operacional:** Cuando la empresa tiene autoridad total para incluir e incorporar sus políticas operativas en la operación.

De acuerdo al caso de estudio los límites organizaciones serán de tipo control operacional que tiene la empresa sobre las plantas de tratamiento de agua potable en la ciudad de Cúcuta.

Límites operacionales

Determinación de Límites Operacionales

Los GE I a considerar, son los establecidos en el Protocolo de Kioto: CO₂, SF₆, CH₄, N₂O, HFCs y PFCs, que se describen a continuación:

- CO₂: Generado principalmente en los procesos de combustión de combustibles con base de carbono (combustibles fósiles y biomasa) y en los procesos de decarbonatación en la producción de clínker. También utilizado en inertizaciones, gases de laboratorio y hospital y en la industria alimentaria. Por otra parte, el CO₂ es eliminado de la atmósfera por los vegetales mediante la fotosíntesis dentro del ciclo natural del carbono.
- CH₄: Generado en los procesos de descomposición anaeróbica de materia orgánica (descomposición de residuos, tratamiento de aguas residuales, estómago de animales, plantaciones de arroz y pantanos). También emitido en la extracción de combustibles fósiles y en trazas de procesos de combustión.
- N₂O: Generado por el uso de fertilizantes y en procesos de combustión. Utilizado en medicina como anestésico. También se libera de forma natural desde suelos y océanos.
- SF₆: Utilizado como aislante en subestaciones eléctricas, desde donde puede ser emitido en forma de emisiones fugitivas.
- HFC y PFCs: Grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo, utilizados en procesos de refrigeración, desde donde pueden ser emitidos como emisiones fugitivas.

Cada tipo de GEI tiene una capacidad diferente de potenciar el efecto invernadero. Esta capacidad se contempla a través de un factor llamado “potencial de calentamiento global”, que compara el efecto de un GEI cualquiera con el efecto del CO₂.

Según el GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting “*después de haber determinado sus límites organizacionales en términos de las operaciones de las que es propietaria o tiene el control, una empresa establece sus límites operacionales. Esto involucra identificar emisiones asociadas a sus operaciones clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas.*” Para esto se establecen 2 alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI.

Alcance 1: Emisiones directas de GEI

Son las fuentes que ocurren en propiedad de o están controladas por la empresa y principalmente resultan de las siguientes actividades:

- **Generación de electricidad, calor o vapor:** Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes fijas: calderas, hornos, turbinas, etc.
- **Procesos físicos o químicos:** La mayor parte de estas emisiones resultan de la manufactura o el procesamiento de químicos y materiales, como cemento, aluminio, ácido adípico, manufactura de amoníaco y procesamiento de residuos.
- **Transporte de materiales, productos, residuos y empleados:** Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes móviles que son propiedad o están controladas por la empresa: camiones, trenes, barcos, aviones, autobuses y automóviles.
- **Emisiones fugitivas:** Estas emisiones resultan de liberaciones intencionales o no intencionales, como fugas en las juntas, sellos o empaques de los equipos; emisiones de metano provenientes de minas de carbón y emisiones de hidrofluorocarbonos (HFCs) durante el uso de equipo de aire acondicionado y refrigeración; y fugas de metano en el transporte de gas.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad

Incluye las emisiones de la generación de la electricidad adquirida y consumida por la empresa. Electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa. Estas emisiones corresponden al uso de aparatos y equipos eléctricos para el desarrollo de las actividades diarias de la empresa.

Selección año base

Una comparación significativa y consistente de las emisiones a través del tiempo requiere fijar una base de desempeño para comparar las emisiones actuales; esto se denomina emisiones del año base.

Para la elección del año base se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ La información requerida para la medición de GEI de ese año debe estar completa.
- ✓ Debe ser confiable y sin ningún tipo de alteración que pueda ocasionar discrepancias con la realidad.

Además, se debe especificar las razones que condujeron a la elección de ese año en particular.

Identificación y cálculo de emisiones GEI

Este paso se elaboró previamente en el análisis de ciclo de vida, por lo tanto, una vez se clasificaron todas las fuentes de emisión en cada uno de los alcances, se sumaron las emisiones de la misma categoría para saber cuál es el alcance con el mayor foco de contaminación.

Capítulo 4 Resultados y Análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de realizar los anteriores procedimientos, con los cuales se realizó el Análisis de Ciclo de Vida y posteriormente se calculó la Huella de Carbono, este último tiene como finalidad determinar la cantidad de CO₂ equivalente que se genera en el proceso de potabilización de agua en las plantas “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala”.

Caracterización de las PTAP

Componentes del Sistema Río Pamplonita

- **Fuente “Río Pamplonita”:** El sistema de acueducto del Río Pamplonita, fue la primera Planta de Tratamiento que tuvo la ciudad de Cúcuta. La limitante en caudal de este Río (1400 L/s) impuso la necesidad de utilizar al Río Zulia como fuente de abastecimiento complementaria para atender la demanda creciente de la ciudad. Estas captaciones se observan en la *Ilustración 7* de color amarillo.

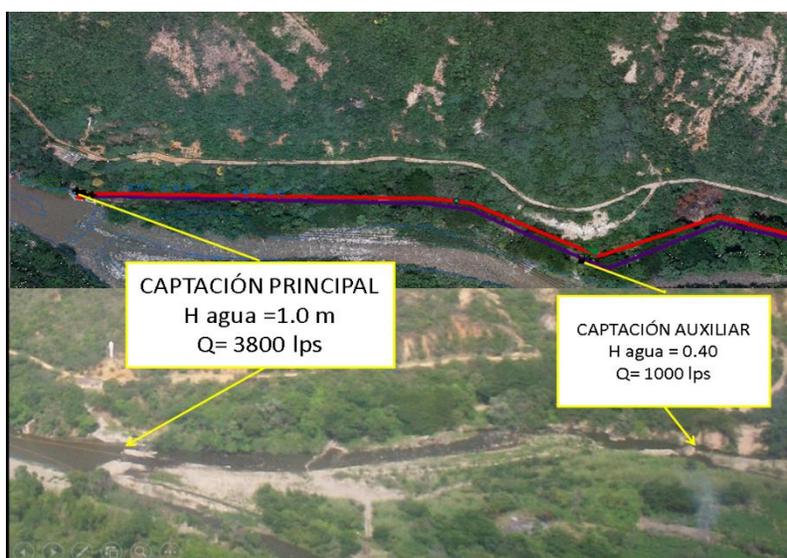


Ilustración 7 Captación Rio Pamplonita

Fuente: Google Maps, 2018

- Captación, Bocatoma:** La captación de agua de este sistema se realiza por gravedad, construido en 1950 mediante una bocatoma lateral localizada en la margen izquierda del Río Pamplonita (Cota aprox. 447.46 msnm), sitio caracterizado por ser muy estable, localizado a 12 kilómetros al sur del casco urbano de la ciudad de Cúcuta y 8 kilómetros aguas arriba de las plantas de tratamiento de El Pórtico. (Ilustración 8 y 9)



Ilustración 8 Captación Principal Río Pamplonita
Fuente: Aguas kpital, 2007



Ilustración 9 Captación Auxiliar Río Pamplonita
Fuente: Aguas Kpital, 2007.

- **Aducción Captación, Bocatoma – Desarenadores:** El agua Captada es conducida mediante dos tuberías en paralelo de 1500 metros de longitud de 28” AC y 30” CCP de longitud 1539m, cada una, hasta los desarenadores la Florida (CR. 437,00 msnm), en la tabla 2 se describen las especificaciones de cada tubería. Existe un tramo de canal construido en concreto reforzado, hace más de 10 años, con el objeto de utilizarlo como alternativa de aducción durante el proceso de rehabilitación o cambio de las tuberías de aducción, este canal no cuenta con estructura de captación, aunque fue construida, la destruyo la acción erosiva del río. (*Ilustración 10*)



Ilustración 10 Aducción Río Pamplonita

Fuente: Aguas Kpital, 2007

Tabla 2 Especificaciones Aducción de Río Pamplonita

| Tubería | Color | Longitud | Cotas | | Capacidad |
|-----------|-------|-------------|--------|---------|-----------|
| | | | Salida | Llegada | |
| Ø30· CCP. | Rojo | 1539 metros | 445.81 | 436.8 | 1000 L/s |
| Ø28· AC | Azul | 1539 metros | 445.38 | 436.73 | 976 L/s |

Fuente: Aguas Kpital, 2007.

Editado por: Autor, 2018.

- **Desarenadores La Florida:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica. El sedimentador “La Florida” (Cota de rebose: 437,90 msnm), desde donde el agua es conducida mediante tres (3) tuberías paralelas, hasta el presedimentador. Existen cuatro módulos de desarenación de tipo convencional. *(Ilustración 11)*



Ilustración 11 Desarenadores Río Pamplonita

Fuente: Aguas Kpital, 2007.

- **Conducción Desarenadores – Presedimentador:** El agua es conducida por tres tuberías paralelas: dos de D= 24” AC y una de D=27” AP de 6240 metros de longitud cada una, hasta el presedimentador, su trazado discurre siguiendo un perfil relativamente plano en los tres kilómetros y ondulado en el tramo final. En la tabla 3 están descritos algunas características de las tuberías de conducción.

Tabla 3 Especificaciones Conducción Desarenadores-Presedimentador

| Tubería | Longitud | Cotas | | Capacidad |
|-----------|-------------|--------|---------|-----------|
| | | Salida | Llegada | |
| Ø27· CCP. | 6203 metros | 434.35 | 398.71 | 720 L/s |
| Ø24· AC | 6322 metros | 434.27 | 398.76 | 521 L/s |

| | | | | |
|--------------|-------------|--------|--------|----------|
| Ø24· AC | 6285 metros | 434.20 | 398.98 | 531 L/s |
| Total | | | | 1772 L/s |

Fuente: Aguas Kpital, 2007.

Editado por: Autor, 2018.

- **Presedimentador:** Este sirve a las dos (2) plantas de tratamiento el Pórtico (CR: 398, 62), el caudal de las conducciones se entrega por intermedio de tres canaletas Parshall (una por cada conducción), que permite efectuar la medición de caudal respectiva. Esta estructura tiene una antigüedad del orden de los 50 años.
- **Planta de Tratamiento “El Pórtico”:** Existen dos plantas de tratamiento localizadas en la vereda El Pórtico, situadas a 4 kilómetros al sur del casco urbano de la Ciudad de Cúcuta, en inmediaciones de la cota 400 msnm. La Planta el Pórtico tienen una capacidad total de 1400 L/s; entregan el agua tratada a dos tanques de almacenamiento de concreto reforzado con capacidad total de 8000 m³ (CR: 387,00 msnm), situados en predios de la planta.

La planta de tratamiento N° 1, la más antigua cuenta con procesos de mezcla rápida mediante un vertedero rectangular que a la vez cumple la función de medición de caudal; floculación mecánica de eje horizontal, sedimentación optimizada con el sistema de placas inclinadas, localizadas al final de la estructura con sus respectivas canaletas recolectoras que transportan agua sedimentadas hacia las unidades de filtración vertical conformadas por lechos mixtos de arena y antracita, soportados por gravas de río seleccionados.

El agua filtrada es clorada y conducida mediante tuberías a dos tanques de almacenamiento con capacidad total de 8000 m³. El lavado de filtros de esta planta se hace desde un tanque metálico elevado. Que se llena mediante bombeo.

La planta de tratamiento N° 2 con igual capacidad (700 L/s) que la Planta N°1 también es de tipo convencional, muy similar a la planta N°1 con la diferencia que la medición y la mezcla rápida se realiza mediante canaleta Parshall y los equipos de floculación mecánica son de eje vertical, el lavado de filtros de esta planta se hace desde un tanque de concreto localizado en la parte alta de la vereda El Pórtico y que a su vez sirve de tanque de

abastecimiento al caserío aledaño; el llenado de este tanque se hace por bombeo desde la planta de tratamiento respectiva. (Ilustración 12)



Ilustración 12 Canaleta Parshall PTAP El Pórtico
Fuente: Autor, 2018



Ilustración 13 Floculación PTAP El Pórtico
Fuente: Autor, 2018



Ilustración 14 Sedimentación PTAP El Pórtico
Fuente: Autor, 2018



Ilustración 15 Filtración PTAP El Pórtico
Fuente: Autor, 2018



Ilustración 16 Desinfección PTAP El Pórtico

Fuente: Autor, 2018

Componentes del Sistema Río Zulia

- **Fuente “Río Zulia”**



Ilustración 17 Captación Río Zulia

Fuente: Google Maps, 2018

- **Pileta de sello Termotasajero – Captación, Bocatoma:** Luego de enfriar las calderas de la Termoeléctrica y antes de retornar al Río (cota=256 msnm). En la pileta de sello, es captada para el sistema de acueducto Río Zulia, mediante una tubería de D=48” L=413 m y conducida hasta la estación de bombeo Termotasajero con capacidad de 1000 L/s, desde donde el agua cruda es impulsada por tres turbinobombas de eje vertical con capacidad de 333 L/s c/u. (*Ilustración 18*)



Ilustración 18 Pileta de Sello Termotasajero

Fuente: Aguas Kpital, 2007.

- **Captación, Bocatoma:** La captación de agua cruda del sistema Río Zulia, se realiza mediante un sistema de bombas tornillo, que elevan el agua de la margen derecha del Río Zulia, en inmediaciones de la cota 240 msnm, para uso de la central generadora de energía termoeléctrica denominada Termotasajero, situada a 15 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cúcuta. (*Ilustración 18*)



Ilustración 19 Captación Termotasajero Río Zulia

Fuente: Aguas Kpital, 2007.

- **Estación de bombeo agua cruda Termotasajero:** Conformada por cuatro bombas de eje vertical, con capacidad de 330 L/s, normalmente operan tres motobombas para una capacidad total de bombeo de 1000 L/s y una motobomba permanece en reserva, la cota de nivel de succión es de 256 msnm. El agua cruda es impulsada por una tubería de D=36" CCP a las cámaras de quiebre (CR: 358,00 msnm) situadas a 1650 metros al oriente de la estación de bombeo, desde donde se conduce por gravedad a la Planta de tratamiento Carmen de Tonchala.



*Ilustración 20 Estación Termotasajero
Fuente: Aguas Kpital, 2017.*

- **Impulsión Estación de bombeo – Cámara de Quiebre:** La tubería de impulsión, D= 36" CCP L=1650 m de longitud, tiene una capacidad para transportar 1000 L/s de agua cruda.
- **Cámara de Quiebre:** Conformadas por dos tanques superficiales de concreto reforzado, con capacidad total de 3200 m³, cota de rebose 356,00 msnm, reciben el agua cruda proveniente del bombeo de la Estación Termotasajero.



Ilustración 21 Impulsión Estación de Bombeo-Cámara de Quiebre

Fuente: Aguas Kpital, 2017

- **Conducción Cámara de Quiebre – Planta de tratamiento:** A continuación de las cámaras de quiebre, mediante una tubería de $D=36''$ $L=4350$ m el agua cruda llega por gravedad a la planta de tratamiento Carmen de Tonchala, de tipo convencional, con capacidad de 1000 L/s.
- **Planta de Tratamiento “Carmen de Tonchala”:** La planta es de tipo convencional con procesos de medición y mezcla rápida mediante canaleta Parshall, floculación mecánica de eje horizontal y sedimentación de alta tasa con placas inclinadas, seguida de un proceso de filtración en lechos mixtos de arena y antracita, soportados con falsos fondos de concreto reforzado, posteriormente el agua es clorada previa conducción hacia los tanques de doña nidia. La planta está provista de un bypass de $\varnothing=36''$ e tubería ccp que permite pasar el agua de buena calidad de las cámaras de quiebre directamente al tanque de doña nidia. La planta está situada en el corregimiento del Carmen de Tonchala, en la cota 347,70 msnm y diseñada para tratar 1000 L/s.



Ilustración 23 Coagulación y Mezcla Rápida PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Aguas Kpital, 2017.



Ilustración 22 Sedimentación PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Aguas Kpital, 2017



Ilustración 25 Filtración PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Aguas Kpital, 2017



Ilustración 24 Desinfección PTAP Carmen de Tonchala
Fuente: Aguas Kpital, 2017

Maquinaria e insumos

A continuación, se presentan la información tomada de los registros que lleva la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S. P sobre el agua captada, el agua producida, el consumo de insumos, cantidad de energía eléctrica consumida y la maquinaria empleada en los procesos de potabilización para los años 2016 y 2017; esta información se evidencia en las tablas de la 4 a la 15.

Agua captada

Tabla 4 Agua Captada Planta El Pórtico en metros cúbicos

| MES | 2016 | 2017 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Enero | 4.537.144 | 4.847.937 |
| Febrero | 3.625.247 | 4.059.004 |
| Marzo | 3.910.916 | 4.550.000 |
| Abril | 4.566.074 | 4.525.665 |
| Mayo | 4.815.959 | 4.690.710 |
| Junio | 4.532.102 | 4.704.055 |
| Julio | 4.764.520 | 4.854.663 |
| Agosto | 4.486.169 | 4.785.422 |
| Septiembre | 4.437.806 | 4.562.849 |
| Octubre | 4.506.505 | 4.768.655 |
| Noviembre | 4.323.495 | 4.572.792 |
| Diciembre | 4.750.419 | 4.684.008 |
| TOTAL POR PLANTA | 53.256.356 | 55.605.759 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2018.

Tabla 5 Agua Captada Planta Carmen de Tonchala en metros cúbicos

| MES | 2016 | 2017 |
|---------|-----------|-----------|
| Enero | 1.821.107 | 1.777.727 |
| Febrero | 2.152.174 | 1.746.745 |
| Marzo | 2.074.302 | 1.746.875 |
| Abril | 1.533.971 | 1.799.575 |
| Mayo | 1.667.725 | 1.852.002 |

| | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Junio | 1.768.817 | 1.839.604 |
| Julio | 1.943.687 | 2.036.927 |
| Agosto | 2.229.214 | 1.488.735 |
| Septiembre | 1.977.412 | 1.891.652 |
| Octubre | 2.068.837 | 1.933.236 |
| Noviembre | 1.683.522 | 1.528.270 |
| Diciembre | 1.963.678 | 1.842.674 |
| TOTAL POR PLANTA | 22.884.444 | 21.484.022 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2018.

Tabla 6 Total de Metros Cúbicos de Agua Captados

| | 2016 | 2017 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| TOTAL m³ CAPTADOS | 76.140.801 | 77.089.781 |

Fuente: Autor, 2018

Agua producida

Tabla 7 Agua Producida Planta El Pórtico en metros cúbicos

| MES | 2016 | 2017 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Enero | 4.399.254 | 4.752.691 |
| Febrero | 3.548.797 | 3.993.253 |
| Marzo | 3.813.653 | 4.448.070 |
| Abril | 4.465.022 | 4.442.756 |
| Mayo | 4.729.337 | 4.625.104 |
| Junio | 4.463.150 | 4.620.553 |
| Julio | 4.683.395 | 4.766.108 |
| Agosto | 4.408.466 | 4.693.471 |
| Septiembre | 4.360.824 | 4.482.623 |
| Octubre | 4.406.375 | 4.679.402 |
| Noviembre | 4.219.200 | 4.470.754 |
| Diciembre | 4.663.634 | 4.574.520 |
| TOTAL POR PLANTA | 52.161.109 | 54.549.306 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2018.

Tabla 8 Agua Producida Planta Carmen de Tonchala en metros cúbicos

| MES | 2016 | 2017 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Enero | 1.475.603 | 1.523.541 |
| Febrero | 1.869.135 | 1.547.180 |
| Marzo | 1.817.511 | 1.514.874 |
| Abril | 1.269.061 | 1.474.853 |
| Mayo | 1.385.445 | 1.535.663 |
| Junio | 1.512.290 | 1.533.520 |
| Julio | 1.668.668 | 1.762.099 |
| Agosto | 1.984.388 | 1.455.455 |
| Septiembre | 1.704.266 | 1.546.503 |
| Octubre | 1.788.474 | 1.608.485 |
| Noviembre | 1.403.617 | 1.251.637 |
| Diciembre | 1.681.572 | 1.580.330 |
| TOTAL POR PLANTA | 19.560.030 | 18.334.140 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2018.

Tabla 9 Total de Metros Cúbicos de Agua Producidos

| | 2016 | 2017 |
|---------------------------------------|-------------|-------------|
| TOTAL m³ PRODUCIDOS | 71.721.139 | 72.883.446 |

Fuente: Autor, 2018

Insumos***EL PÓRTICO****Tabla 10 Consumo de Insumos Planta El Pórtico para el año 2016*

| MES | STB (Kg) | COLORO GASEOSO (Kg) | POLIMERO SUPERFLOC 573-C (Kg) | POLIMERO POLIFLOC (Kg) | AK-23 (Kg) | PHCA (Kg) | CARBON ACTIVADO |
|--------------|-----------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| Enero | - | 8.171 | 461 | | 55.140 | | - |
| Febrero | - | 6.695 | 295 | | 36.728 | | - |
| Marzo | 8.275 | 7.249 | 404 | | 40.446 | | 800 |
| Abril | 16.400 | 8.736 | 828 | | 68.232 | | 100 |
| Mayo | 14.200 | 9.507 | 405 | | 67.835 | | - |
| Junio | 8.750 | 9.091 | 269 | | 61.880 | | 550 |
| Julio | 40.825 | 8.554 | - | | 46.250 | | - |
| Agosto | - | 7.530 | - | | 41.500 | | 675 |
| Septiembre | 3.250 | 8.758 | 294 | | 44.316 | | 350 |
| Octubre | 2.650 | 9.837 | 1.446 | 587 | 104.040 | 8.233 | 250 |
| Noviembre | 10.275 | 7.877 | 1.404 | 1.635 | 107.909 | 51.985 | 50 |
| Diciembre | - | 8.222 | - | 883 | 60.047 | 49.640 | - |
| TOTAL | 104.625 | 100.227 | 5.808 | 3.105 | 734.324 | 109.858 | 2.775 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2016.**Editado por: Autor, 2018.*

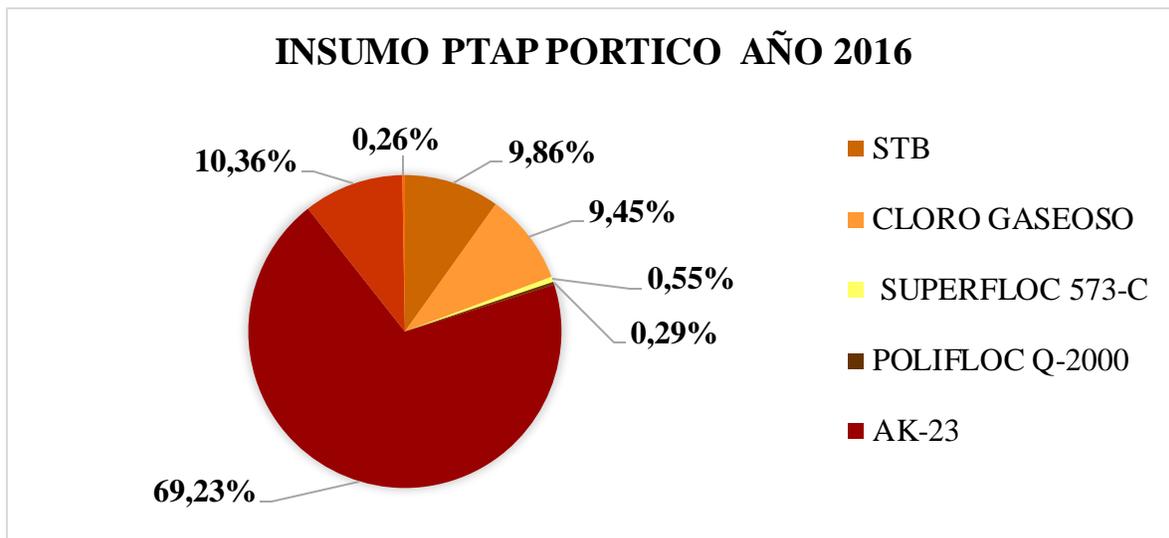
Tabla 11 Consumo de Insumos Planta El Pórtico para el año 2017

| MES | STB (Kg) | CLORO GASEOSO (Kg) | POLIMERO SUPERFLOC 576-C (Kg) | POLIMERO POLIFLOC (Kg) | POLIMERO FLOCUAT (Kg) | SULFLOC NR 13 | AK-23 (Kg) | CARBON ACTIVADO |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Enero | - | 8.022 | - | 181 | - | - | 43.931 | - |
| Febrero | - | 6.450 | - | 37 | - | - | 28.264 | - |
| Marzo | - | 7.230 | - | 1.155 | - | - | 48.716 | - |
| Abril | - | 7.240 | - | 894 | - | - | 55.366 | - |
| Mayo | - | 7.527 | - | 1.017 | 220 | - | 51.751 | - |
| Junio | 5.325 | 7.487 | - | 183 | 118 | - | 49.081 | 350 |
| Julio | - | 7.505 | - | - | 201 | 4.518 | 26.323 | - |
| Agosto | - | 7.612 | - | - | 213 | 29.764 | 31.457 | - |
| Septiembre | - | 7.587 | - | - | 131 | 49.304 | - | 600 |
| Octubre | - | 8.154 | - | - | 369 | 55.450 | - | - |
| Noviembre | 400 | 7.666 | 404 | - | 507 | 94.296 | - | 400 |
| Diciembre | - | 7.880 | 375 | - | - | 52.989 | - | - |
| TOTAL | 5.725 | 90.360 | 779 | 3.467 | 1.759 | 286.320 | 334.888 | 1.350 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2018.

Figura 3 Insumos consumidos PTAP El Pórtico año 2016

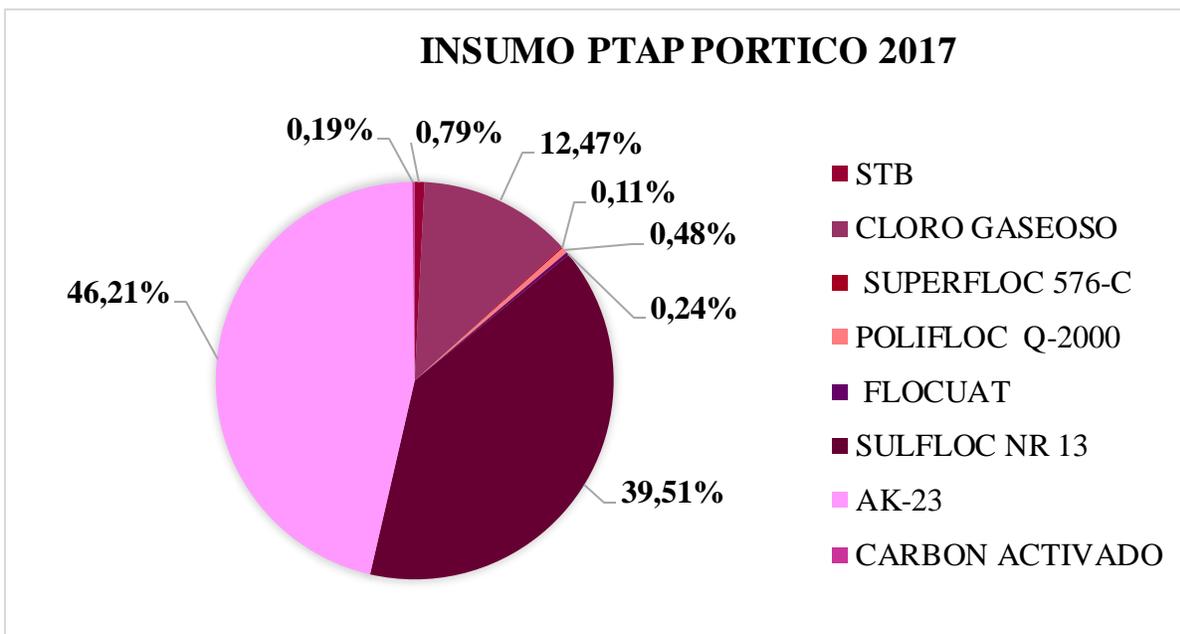


Fuente: Autor, 2019.

En la Figura 6 *Insumos consumidos PTAP año 2016* el “AK-23”, nombre estipulado internamente por los empleados de la planta para referirse al Hidroxicloruro de Aluminio, es el elemento de mayor consumo con un 69,23%, el siguiente es el “PHCA-22” o Polihidroxiclورو de aluminio con un 10,36%, y el STB (Sulfato de Aluminio Tipo B) con un 9,86%; estos son los productos químicos con mayor consumo para el año 2016 en los procesos de coagulación y mezcla rápida. El AK-23 es el coagulante usado de manera habitual debido a su gran eficiencia en la reducción de turbidez del agua, al igual que el PHCA-22 son suministrados de manera constante e ininterrumpida; el Sulfato de Aluminio Tipo B es empleado en casos en que el pH del agua llega con altos niveles de acidez, por lo cual este compuesto sintético ayuda a estabilizar su rango de pH en una más básico. Por otro lado, también se usan los co-ayudantes “Superfloc 573-C” en un 0,55% y “Polifloc Q-2000” en un 0,29%, solo en casos en las que la turbiedad se presente en valores superiores a los 300 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) debido a los sobrecostos en producción ocasionados por los altos precios de estos productos.

El cloro gaseoso con un 9,45% es usado en el proceso de desinfección, a fin de mejorar las propiedades organolépticas del agua, y a la vez que eliminar muchos microorganismos patógenos; a pesar de ser usado de manera constante, el porcentaje en el que es empleado no es tan elevado debido a que las concentraciones en las que es aplicado es inferior en comparación de los coagulantes. El último elemento es el carbón activado con un 0,26%, el cual se usa en el proceso de filtración por sus propiedades de adsorción; su valor porcentual es el más bajo con respecto a los otros insumos dado que solo se cuenta un gasto en este producto en el momento de cambiar el lecho filtrante.

Figura 4 Insumos consumidos PTAP El Pórtico año 2017



Fuente: Autor, 2019.

Al igual que para el año 2016, en la PTAP “El Pórtico” se observa en la Figura 7 *Insumos consumidos PTAP año 2017* que el elemento con mayor uso dentro de los procesos de potabilización es el “AK-23” con un 46,21%, resaltando que disminuyó su consumo a causa de un segundo coagulante empleado en el 2017, dicho coagulante denominado “Sulfloc NR-13”, otra variante del Hidroxicloruro de Aluminio en presentación líquida, tiene un porcentaje de uso del 39,51%. El “STB” con un 0,79%, se sigue usando con la misma finalidad que para el año 2016. Los coayudantes Polifloc Q-200, Flocuat FL-2565 y Superfloc C-576 empleados en las mismas condiciones del año 2016, razón por la cual sus porcentajes de uso son 0,48%, 0,24% y 0,11% respectivamente. En el caso del proceso de desinfección se sigue empleando el Cloro gaseoso como bactericida con un 12,47% de aplicación con respecto al resto. Por último, con un 0,19% el carbón activado el cual solo es usado en el momento de cambiar el lecho filtrante.

CARMEN DE TONCHALA*Tabla 12 Consumo de Insumos Planta Carmen de Tonchala para el año 2016*

| MES | STB (Kg) | CLORO GASEOSO (Kg) | POLIMERO SUPERFLOC 573-C (Kg) | POLIMERO POLIFLOC (Kg) | POLICLORURO DE ALUMINIO (Kg) |
|--------------|-----------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Enero | - | 2.441 | 12 | - | 4.595 |
| Febrero | - | 2.757 | 33 | - | 5.287 |
| Marzo | 827 | 2.610 | 94 | - | 9.791 |
| Abril | 11.203 | 2.163 | 243 | - | 22.356 |
| Mayo | 15.392 | 2.301 | 128 | - | 11.049 |
| Junio | 5.598 | 2.529 | - | - | 4.413 |
| Julio | 3.118 | 2.573 | 23 | - | 6.416 |
| Agosto | 2.193 | 2.723 | 52 | - | 8.526 |
| Septiembre | 2.358 | 2.322 | 48 | - | 11.200 |
| Octubre | 15.208 | 2.615 | 372 | - | 25.474 |
| Noviembre | 11.699 | 1.980 | 435 | 230 | 33.020 |
| Diciembre | 26.768 | 2.323 | - | 220 | 16.650 |
| TOTAL | 94.363 | 29.338 | 1.441 | 450 | 158.776 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2017.**Editado por: Autor, 2018.*

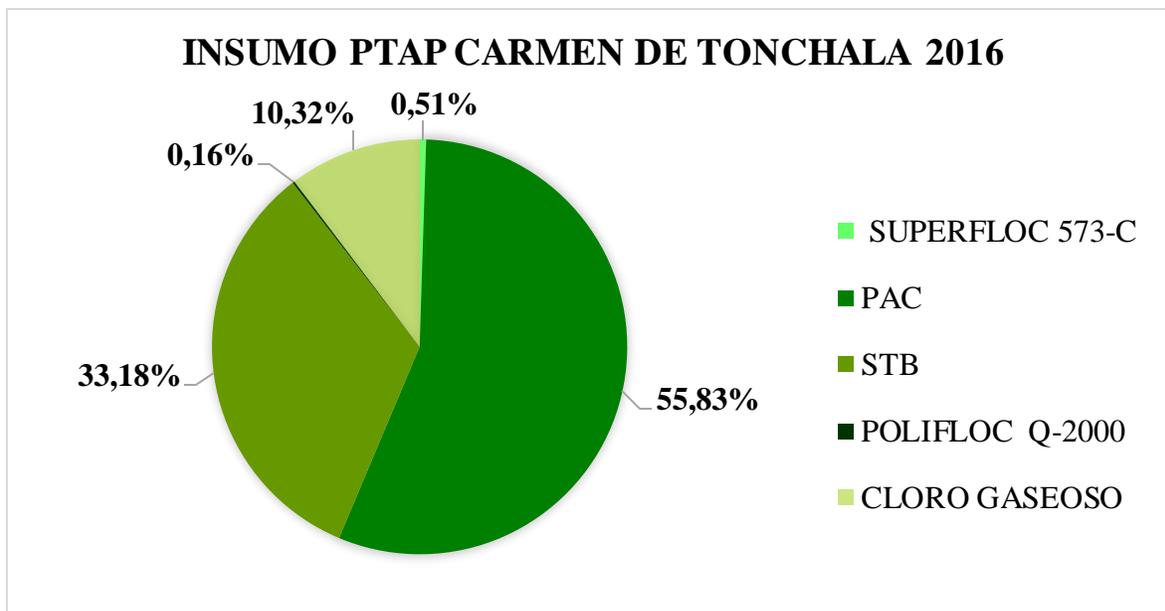
Tabla 13 Consumo de Insumos Planta Carmen de Tonchala para el año 2017

| MES | STB (Kg) | CLORO GASEOSO (Kg) | POLIMERO SUPERFLOC 576-C (Kg) | POLIMERO POLIFLOC (Kg) | POLIMERO FLOCUAT (Kg) | POLICLORURO DE ALUMINIO (Kg) |
|--------------|-----------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| Enero | 8.373 | 1.922 | - | 64 | 65 | 12.456 |
| Febrero | 2.432 | 1.806 | - | 20 | - | 4.735 |
| Marzo | 15.639 | 1.941 | - | 368 | - | 22.265 |
| Abril | 19.643 | 1.975 | - | 304 | - | 21.700 |
| Mayo | 16.911 | 1.783 | - | 293 | - | 25.755 |
| Junio | 21.915 | 2.002 | - | - | 85 | 15.813 |
| Julio | 19.748 | 2.101 | - | - | 55 | 11.911 |
| Agosto | 10.027 | 1.856 | - | - | 425 | 27.703 |
| Septiembre | 10.492 | 1.822 | - | - | 250 | 31.717 |
| Octubre | 23.717 | 1.770 | 136 | - | 62 | 15.958 |
| Noviembre | 13.640 | 1.567 | 326 | - | - | 25.876 |
| Diciembre | 12.633 | 1.725 | 62 | - | - | 7.594 |
| TOTAL | 175.169 | 22.268 | 524 | 1.050 | 941 | 223.482 |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2017

Figura 5 Insumos consumidos PTAP Carmen de Tonchala año 2016

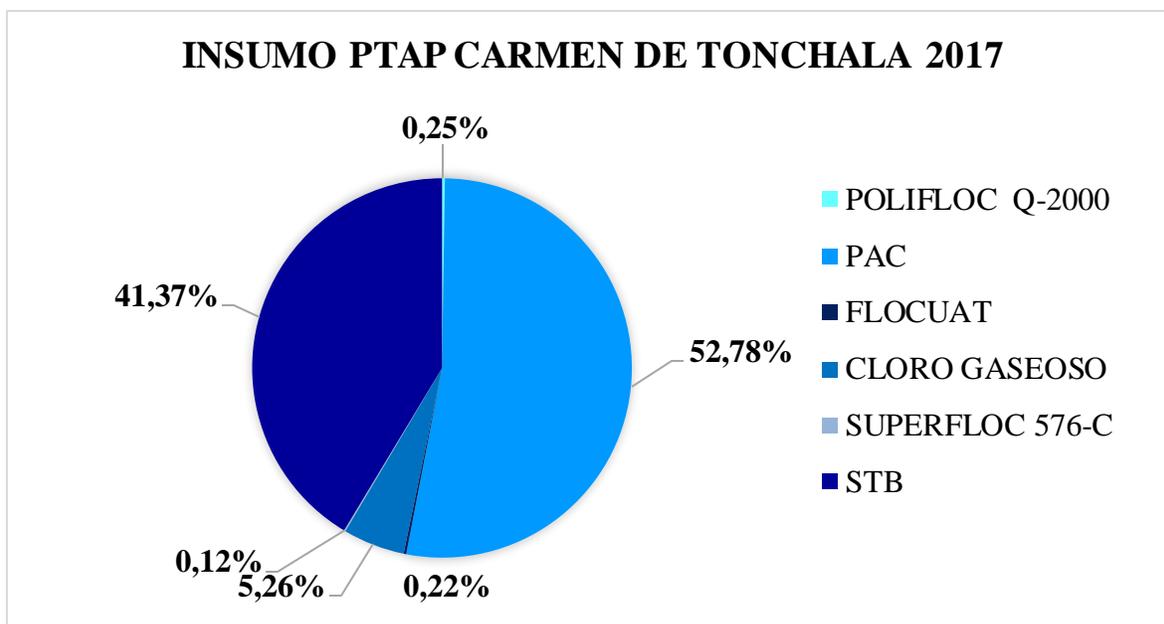


Fuente: Autor, 2019

En la Figura 8, se observa que los insumos más usados en la PTAP de Carmen de Tonchala para el año 2016 es el “PAC” o Policloruro de Aluminio y el “STB” o Sulfato de Aluminio Tipo B con un 55,83% y 33,18% respectivamente; coagulantes usados con la finalidad de formar floc que sean fácilmente sedimentables por gravedad. La razón por la que el PAC es más usado que el STB, se debe a la eficacia en el momento de aglomerar partículas y formar floc, aunque en costos el STB es más económico.

Los co-ayudantes empleados fueron Superfloc 573-C y Polifloc Q-2000 con un 0,51% y 0,16%, en casos donde la turbiedad superase los valores normales de trabajo. Al igual que en la PTAP El Pórtico, en esta se emplea el Cloro Gaseoso (10,32%) como bactericida en los procesos de desinfección debido a eficiencia y bajo costo.

Figura 6 Insumos consumidos PTAP Carmen de Tonchala año 2017



Fuente: Autor, 2019

En la figura 9 *Insumos consumidos PTAP Carmen de Tonchala año 2017* al igual que para el año anterior, en el 2017 los consumos en lo referente a compuestos químicos en la planta fueron muy similares, iniciando con los dos insumos más empleados en los procesos de coagulación y mezcla rápida, los cuales siguen siendo PAC y STB con 52,78% y 41,37% respectivamente. En co-ayudantes, la situación sigue siendo muy similar continuando con la aplicación de Superfloc 576-C (0.12%) y Polifloc Q-2000 (0.25%) en las mismas condiciones que en años anteriores; exceptuando la introducción de un nuevo coagulante llamado Flocuat con un 0,22%, también implementado en la PTAP El Pórtico para ese mismo año. El Cloro gaseoso al igual que para el año anterior, se emplea como bactericida con un 5.26% con respecto a los otros insumos.

Maquinaria**EL PÓRTICO***Tabla 14 Maquinaria usada en el proceso de potabilización en la PTAP El Pórtico*

| Maquinaria | Tipo | Marca | Modelo | Serie | Cantidad | Rpm (revoluciones por minuto) | Especificaciones | | | Combustible | | |
|-------------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------------------|----------|----------------------------------|------------------|--------|-----------|-------------|----------|--------|
| | | | | | | | Capacidad | Torque | Potencia | Tipo | Cantidad | Unidad |
| Unidad de Bombeo | Lapicero / 3 etapas | Worthington | 12 M 75 VERTICAL | VTP - 17815 | 3 | 1750 | 500 GPM | | | Eléctrico | | |
| Motor Vertical | Rue Vertical | US Electrical Motor | 324 TP WPI | 6229 / R 10 R 187 R02 0 R-20 | 2 | 1770 | | 40 HP | Eléctrico | 230-460 | Voltios | |
| Motor Vertical | K Vertical | General Electric | B32416 | | 1 | 1770 | | | Eléctrico | 230-460 | Voltios | |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|---------|--------------------------|---|------|--------------------|--------|-----------|---------|---------|
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1 LA 3 130-6 YB 70 | | 1150 | | 4,8 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| Reductor 1 | 4R | Fortis | 19 a 1 | 3 | | 1500 Kg/m ts | 4,8 HP | Eléctrico | | |
| Reductor 2 | 3R | Fortis | 25 a 1 | | | 5000 Kg /mts | | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1 LA 3 083-4 YB 60 | | 1700 | | 1,2 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| Reductor 1 | 1 AF | Fortis | 19 a 1 | 6 | | 1250 Kg/m ts | | Eléctrico | | |
| Reductor 2 | 3 AF | Fortis | 25 a 1 | | | 4800 Kg /mts | | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1 LA 3 113-4 YB 60 | 3 | 1745 | | 6,6 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|---|------|--------|-----------|-----------|---------|
| Reductor 1 | Variador de Velocidad | Fortis | 20 a 1 | | | 5,5 HP | Eléctrico | | |
| Reductor 2 | DA 90 HF2 | Fortis | 45 a 1 | | | 5,5 HP | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | | Allis Chaimers | 254 V | | 3500 | 10 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| | | | | 1 | | | | | |
| Bomba | Centrifuga / Presión | Pacific Pump | | | 3500 | 10 HP | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1LA3 130 2YB79 | | 3520 | 9 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| | | | | 1 | | | | | |
| Bomba | Centrifuga / Presión | Barnes | | | 3520 | 30 GPM | 9 HP | Eléctrico | |
| Motor Eléctrico | | US Electrical Motor | | 1 | 1745 | 7,5 HP | Eléctrico | 230-460 | Voltios |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|----|------|------------|--------|---------------|-------------|-------------|
| Bomba | Centrifu ga / Presión | Sihi Halberg | | | 1745 | 30 GPM | 7,5 HP | Eléctric o | | |
| Motor Eléctrico | | General Electric | 5K184 LA6 | NR | 3510 | | 7,5 HP | Eléctric o | 230- 460 | Volti os |
| | | | | 1 | | | | | | |
| Bomba | Centrifu ga / Presión | Pacific Pump | | | 3510 | 30 GPM | 7,5 HP | Eléctric o | | |
| Motor Eléctrico | | General Electric | 5K184 LA6 | | 3510 | | 7,5 HP | Eléctric o | 230- 460 | Volti os |
| | | | | 1 | | | | | | |
| Bomba | Centrifu ga / Presión | Pacific Pump | 1 ¼ BDLR 22 | | 3510 | 100 GPM | 7,5 HP | Eléctric o | | |
| Motor Eléctrico | | General Electric | 5K184 LA6 | | 3510 | | 7,5 HP | Eléctric o | 230- 460 | Volti os |
| | | | | 1 | | | | | | |
| Bomba | Centrifu ga / Presión | Pacific Pump | 1 ¼ BDLR 22 | | 3510 | 100 GPM | 7,5 HP | Eléctric o | | |
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1LA7 113 – 2YE69 | 1 | 3480 | | 6,6 HP | Eléctric o | 220- 440 | Volti os |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|------------|----------|---|------|--|--------|-----------|-----|---------|
| Bomba | Centrifuga / Presión | | | | 3480 | | 6,6 HP | Eléctrico | | |
| Clorador | Industrial | Hydro | 750 | 1 | | | | Eléctrico | | |
| Clorador | Gas Detector | Hydro | GA - 170 | 1 | | | | Eléctrico | | |
| Motor para dosificador | | Siemens | | 1 | 1760 | | 3 HP | Eléctrico | 220 | Voltios |
| Motor para dosificador | | Siemens | | 1 | 1760 | | 3 HP | Eléctrico | 220 | Voltios |
| Motor Eléctrico | | Honey Well | | 1 | 1800 | | 1/6 HP | Eléctrico | 120 | Voltios |

| | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------|---------------|
| Dosificad or | Centrifu ga / Presión | Pennwalt Wallace & Tiernan | 75 TON | Eléctric o |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------|---------------|

***Fuente:** Aguas Kpital, 2017.*

***Editado por:** Autor, 2011*

CARMEN DE TONCHALA*Tabla 15 Maquinaria usada en el proceso de potabilización en la PTAP Carmen de Tonchala*

| Maquina ria | Tipo | Marca | Modelo | Serie | Cantid ad | Rpm (revolucio nes por minuto) | Especificaciones | | | Combustible | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------|---|--------------------|--------------|---|------------------|------------|--------------|---------------|---------------------|---------|
| | | | | | | | Capacid ad | Torq ue | Potenc ia | Tipo | Cantidad | Unidad |
| Motor eléctrico | p- Eléctrico Vertical | Reallnceelec tric | | P56H133 7V – PW | 2 | 1725 | | | 3/4 HP | Eléctri co | 208/230- 460/480 | Voltios |
| Bomba | Desplazamie nto positivo | Mil Tonroy | YB1 M60 AL 1 DD | | 2 | 1700 | 192 GPH | | | Eléctri co | | |
| Motor Eléctrico | Eléctrico Vertical | Baldor | 34 A 63 - 895 | W7 – 93 | | 1725 | | | 2,5 HP | Eléctri co | 208- 230/460 | Voltios |
| Reducto r | Piñones de dientes rectos | Sharpe Mixers | 0.25 N 12 – 49 / MECAN ICO (5 a 1) | 34791 - 6 | 1 | 1700 | | | | Eléctri co | | |
| Motor Eléctrico | Eléctrico Vertical | Baldor | 35 A 13 – 87 | F 1093 | | 1725 | | | 1 HP | Eléctri co | 208- 230/460 | Voltios |
| Reducto r | Piñones de dientes rectos | Sharpe Mixers | FGP – 100 / MECAN | 34791 - 6 | 1 | 1700 | | | | Eléctri co | | |

| ICO (5 a 1) | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------|-----------|---|------|--------|-----------|-------------|---------|
| Motor Eléctrico | Eléctrico Vertical | Baldor | 35 A 13 - 87 | F 1093 | | 1725 | 1 HP | Eléctrico | 208-230/460 | Voltios |
| Reductor | Piñones de dientes Helicoidales | Sharpe Mixers | FGP - 100 / MECAN ICO (5 a 1) | 34791 - 6 | 3 | 1700 | | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | Eléctrico Horizontal | Siemens | 1 LA - 3 / 095 - 4YB60 | | | 1700 | 1,8 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| Reductor | Mecanico/Sin fin y Corona | | MRS 112V1 4095 B3 (70 a 1) | 69339 | 3 | 1700 | | Eléctrico | | |
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1 LA 3 / 107 - 4YC60 | 986202 | | 1720 | 5 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| Reductor 1 | MR 180 H/D -80 | | 30.41 | | 2 | 1750 | 4,8 HP | Eléctrico | | |
| Reductor 2 | MRD 90/TP 1140 CPR | | 85.84 | | | 1750 | 5 HP | Eléctrico | | |

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|---|------|--------------|--------|---------------|---------|---------|
| Motor Eléctrico | | Siemens | 1 LA 3 / 107 – 4YC60 | 986515 | | 1720 | | 5 HP | Eléctri co | 220-440 | Voltios |
| Reductor 1 | MR 180 H/D -80 | | 30.41 | | 1 | 1750 | | 4,8 HP | Eléctri co | | |
| Reductor 2 | RDH / TP 140 | | 15.50 | | | 1750 | | 10 HP | Eléctri co | | |
| Motor Eléctrico | Eléctrico Horizontal | Baldor | 12 C 51 W 273 | 694 C | | 1760 | | 40 HP | Eléctri co | 230-460 | Voltios |
| Compresor | Rotativo de Tornillo | Universal Raiblower | | 94 C 54276 | 2 | 2020 | 1200 SCFM | | Eléctri co | | |
| Bomba | Impulsor | IHM | 3 X 3 X 8A SM | 9120781 | 2 | 3500 | 40 GPM | | Eléctri co | | |
| Bomba | Eléctrico horizontal | Siemens | 1 LA 3/131 – 2 YB70 | P9 – 715995 | 2 | 3525 | | 12 HP | Eléctri co | 220-440 | Voltios |
| Bomba | Centrifuga de impulsor cerrado | IHM | 8 ML | 90 D 0440 | 1 | 3400 | | | Eléctri co | | |
| Bomba | Eléctrico Horizontal | Siemens | 1 LA 3 096 – 2 YB 60 | P9 – 698462 | 1 | 3410 | | 3,6 HP | Eléctri co | 220-440 | Voltios |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|---------|---------------------|---------------------------|---|------|--------|-----------|---------|---------|
| Bomba | Centrifuga de impulsor cerrado | IHM | VN 135 V -4/8 | 94N0457 | 1 | 3450 | | Eléctrico | | |
| Bomba | Eléctrico Horizontal | Siemens | 1 LA3 / 106 – 2YC69 | 981384 | 1 | 3470 | 5 HP | Eléctrico | 220-440 | Voltios |
| Motor | Eléctrico Horizontal | Siemens | | 31535 A1 / 9C2303F C – PO | | 1750 | 1/2 HP | Eléctrico | 230 | Voltios |
| Válvula | Mariposa | EIM | | | 1 | | | Eléctrico | | |
| Reductor de velocidad | Sinfín y Corona | | | N31535 AT | | | | Eléctrico | | |
| Dosificador | | | V – NOTCH – V 2005 | AZ 24605 | 3 | | | Eléctrico | | |
| Dosificador | ED Ospina | | | | 2 | | | Eléctrico | | |

Fuente: Aguas Kpital, 2017.

Editado por: Autor, 2019

Electricidad**EL PORTICO***Tabla 16 Consumo de Energía Eléctrica PTAP El Pórtico año 2016*

| MES | BOCATOMA | DESARENADORES | PORTICO |
|-------------------|---------------|---------------|-------------|
| | Consumo (KwH) | Consumo (KwH) | Consumo (w) |
| ENERO | 684 | 487 | 43263,33 |
| FEBRERO | 623 | 592 | 37257,33 |
| MARZO | 661 | 668 | 40095,66 |
| ABRIL | 612 | 465 | 41377,38 |
| MAYO | 602 | 479 | 41877,33 |
| JUNIO | 585 | 470 | 39500,34 |
| JULIO | 627 | 610 | 41845,32 |
| AGOSTO | 633 | 532 | 43342,86 |
| SEPTIEMBRE | 621 | 515 | 42603 |
| OCTUBRE | 636 | 638 | 41987,22 |
| NOVIEMBRE | 603 | 620 | 39924,72 |
| DICIEMBRE | 635 | 647 | 37766,52 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2017.**Editado por: Autor, 2019**Tabla 17 Consumo de Energía Eléctrica PTAP El Pórtico año 2017*

| MES | BOCATOMA | DESARENADORES | PORTICO |
|-------------------|---------------|---------------|-------------|
| | Consumo (KwH) | Consumo (KwH) | Consumo (w) |
| ENERO | 634 | 492 | 38856,84 |
| FEBRERO | 608 | 531 | 34793,88 |
| MARZO | 659 | 588 | 37869,15 |
| ABRIL | 603 | 696 | 39612,54 |
| MAYO | 608 | 716 | 42471,99 |
| JUNIO | 601 | 539 | 31115,7 |
| JULIO | 629 | 527 | 43090,74 |
| AGOSTO | 637 | 517 | 45486,21 |
| SEPTIEMBRE | 620 | 679 | 43428 |
| OCTUBRE | 661 | 632 | 44927,19 |
| NOVIEMBRE | 685 | 834 | 41097,54 |
| DICIEMBRE | 730 | 520 | 40376,16 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2017.**Editado por: Autor, 2019*

CARMEN DE TONCHALA*Tabla 18 Consumo de Energía Eléctrica PTAP Carmen de Tonchala año 2016*

| PLANTA CARMEN DE TONCHALA | CAMARA DE QUIEBRE | |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Mes | ACTIVA kwh | ACTIVA kwh |
| ENERO | 5280,8 | 380,8 |
| FEBRERO | 4900,8 | 341,7 |
| MARZO | 4871,2 | 366,3 |
| ABRIL | 4718,2 | 369 |
| MAYO | 4795,6 | 337,3 |
| JUNIO | 4671 | 340,6 |
| JULIO | 4787,4 | 344 |
| AGOSTO | 5008,8 | 432,5 |
| SEPTIEMBRE | 4570,4 | 270,6 |
| OCTUBRE | 5266 | 456,1 |
| NOVIEMBRE | 5094 | 423,1 |
| DICIEMBRE | 5515,8 | 469,5 |
| TOTAL | 59480 | 4531,5 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2017.**Editado por: Autor, 2019**Tabla 19 Consumo de Energía Eléctrica PTAP Carmen de Tonchala año 2017*

| PLANTA CARMEN DE TONCHALA | CAMARA DE QUIEBRE | |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Mes | ACTIVA kwh | ACTIVA kwh |
| ENERO | 4900,4 | 434,5 |
| FEBRERO | 4464,8 | 390,9 |
| MARZO | 5187,6 | 422,5 |
| ABRIL | 5227,8 | 429 |
| MAYO | 5117 | 407,6 |
| JUNIO | 4691 | 394 |
| JULIO | 5014,4 | 388,2 |
| AGOSTO | 4961,4 | 398,3 |
| SEPTIEMBRE | 5200 | 396,1 |
| OCTUBRE | 5305,2 | 400 |
| NOVIEMBRE | 4832,6 | 386,4 |
| DICIEMBRE | 5042 | 416,2 |
| TOTAL | 65172 | 4863,7 |

*Fuente: Aguas Kpital, 2017.**Editado por: Autor, 2019*

Análisis ciclo de vida

I. Definición de objetivo y alcance

Se realizó un estudio aplicando un Análisis del ciclo de vida (ACV) a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala” ubicadas en la ciudad de Cúcuta, Colombia. Tomando como un sistema, a el proceso de potabilización que se llevan a cabo en las PTAP y los subprocesos como componentes que conforman dicho sistema.

La elaboración de esta investigación se basa en los datos suministrados por la empresa, visitas técnicas a cada una de las plantas y de las bases de datos de Ecoinvent. El propósito es cuantificar la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se está generando en estas instalaciones.

Objetivo

Desarrollar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala” mediante el uso del software LCA-manager para determinar la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq).

Alcance

A continuación, se especificará el sistema de estudio, así como los límites que tiene con una descripción de los datos y elementos que lo conforman, para realizar el ACV. El objeto de estudio son las 2 PTAP llamadas “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala”, las cuales llevan a cabo el proceso de potabilización.

Función del sistema estudiado

El sistema cumple con la función de cambiar las propiedades físico químicas del agua, que llega a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable modificando propiedades como el pH, turbiedad, color, olor y sabor por medio de procesos físicos y químicos, con la finalidad de obtener agua que sea apta para consumo humano.

Unidad funcional

La finalidad del proceso de potabilización es obtener agua potable, por esta razón se empleó una unidad de volumen que relacione el objetivo final con una magnitud física, por esta razón la unidad funcional está basada en el “metro cubico de agua potable”.

Sistemas estudiados

El sistema consta de 2 PTAP para las instalaciones en “El pórtico” y 1 PTAP para las instalaciones en “Carmen de Tonchala” las cuales dan tratamiento al agua recolectada de “El Río Pamplonita” y “El Río Zulia”. Cada planta está constituida por un conjunto de equipos y operaciones unitarias que forman parte del proceso de tratamiento.

Límites del sistema

- Límites geográficos

Las plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala” están localizadas en la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

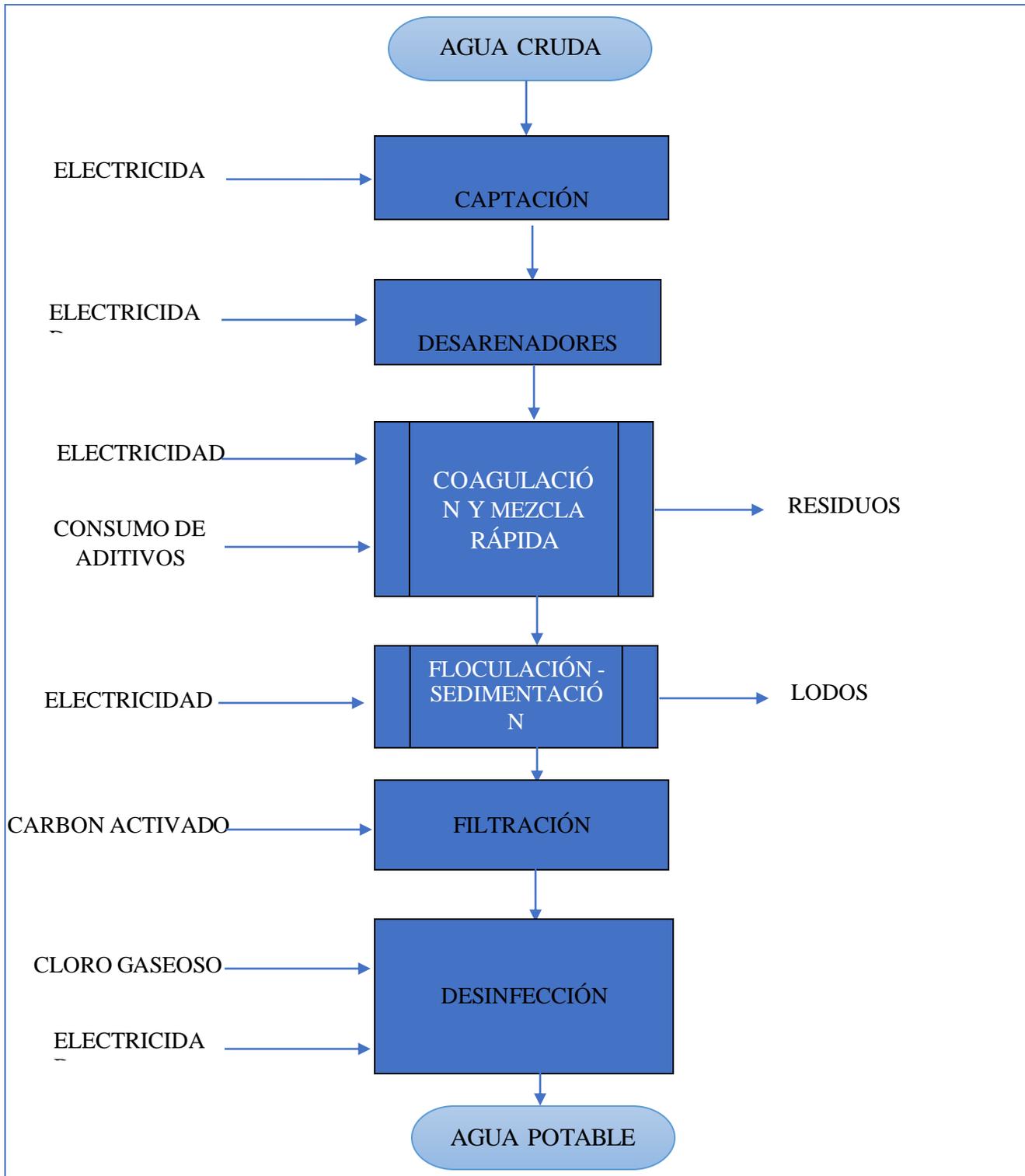
- Límites temporales

Como horizonte temporal se consideraron los datos reportados por las PTAP desde el enero del 2016 hasta diciembre del 2017, donde el año 2016 será tomado como año base y el año 2017 será el año en estudio.

- Límites del sistema

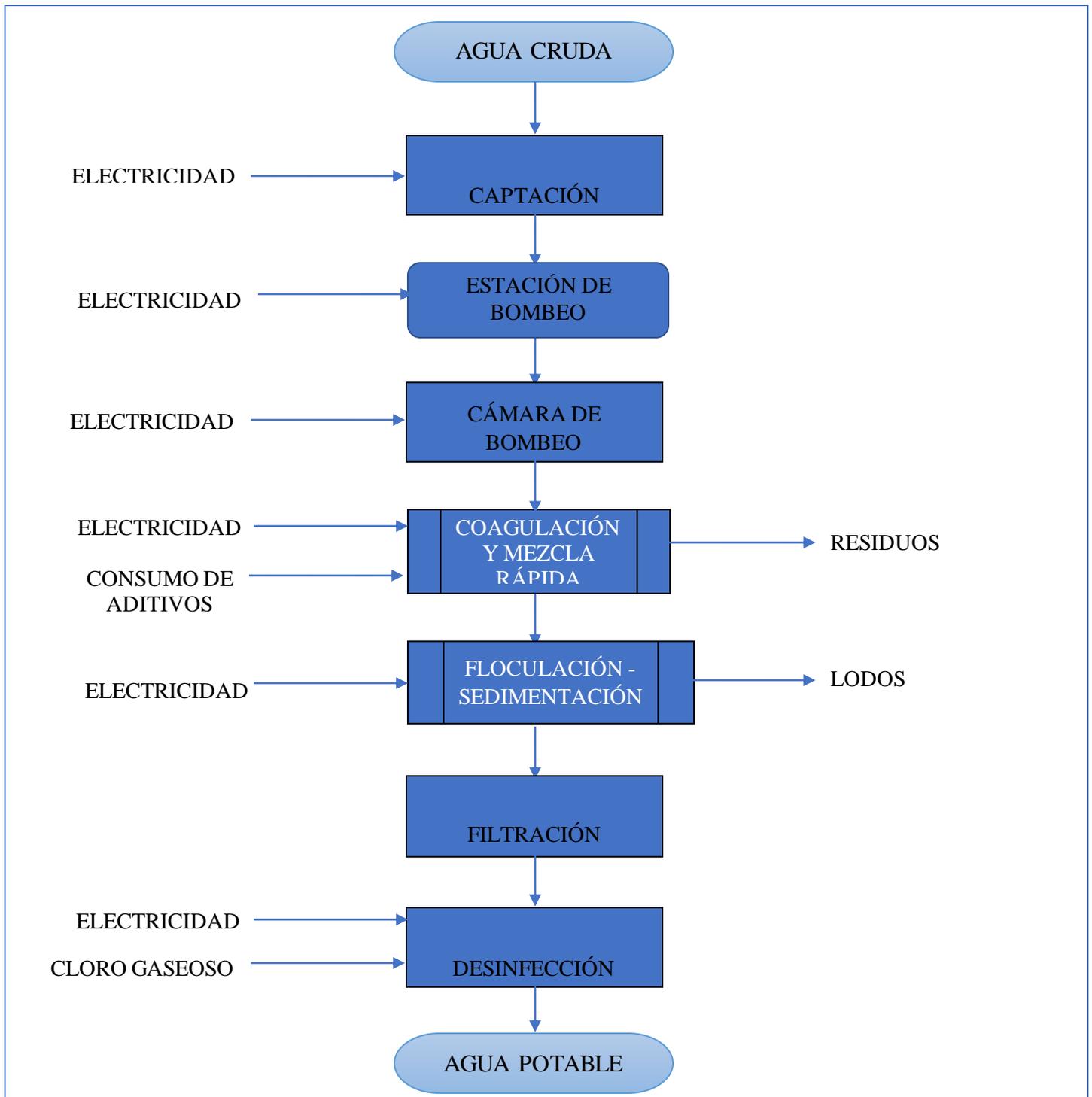
A continuación, en *la figura 10 Diagrama de Flujo PTAP EL Pórtico* y *figura 11 Diagrama de Flujo PTAP Carmen de Tonchala* se observan los diagramas de flujo de cada una de las plantas con sus respectivas entradas y salidas que se dan por proceso.

Figura 7 Diagrama de Flujo PTAP El Pórtico



Fuente: Autor, 2019.

Figura 8 Diagrama de Flujo PTAP Carmen de Tonchala



Fuente: Autor, 2019.

Etapas excluidas del análisis

Las exclusiones que no se tomarán para el análisis de Ciclo de vida serán las emisiones asociadas a la fabricación de los vehículos de transporte, a las instalaciones de generación de energía eléctrica y fabricación de los aditivos.

Datos necesarios y requisitos de calidad

La mayor parte de los datos usados en este análisis provienen de las PTAP El Pórtico y Carmen de Tonchala, localizadas en Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Al igual, que de los datos recopilados gracias a la base de datos de Ecoinvent versión 3.1, donde se obtuvo el inventario de emisiones y productos resultantes para cada insumo, consumo eléctrico y demás entradas al sistema.

- Información necesaria

Los datos necesarios para llevar a cabo el análisis son: Agua captada, agua producida, consumo eléctrico, tipos y consumo de coagulantes y tipo y consumo de bactericida.

- Requisitos de calidad de datos

Los datos que se manejan en este análisis son datos que fueron reportados por la planta desde enero del 2016 hasta diciembre de 2017. Por otro lado, la base de datos y el inventario pertinente se basó en la database de ecoinvent versión 3.1.

Herramienta informática utilizada

La herramienta utilizada en la evaluación ambiental ha sido la herramienta de análisis de ciclo de vida LCA-Manager. Se ha utilizado la versión 1.7, programa que permite la evaluación ambiental basada en la metodología del Análisis de Ciclo de Vida para productos y procesos industriales. (Simpplé, 2010)

Para la utilización de la herramienta se deben definir aspectos tales como: escenario (alcances y objetivos), unidad funcional (Kg de material, MJ de energía, m³ de agua tratada, etc.), categorías de daño (sobre el entorno en qué se realiza el efecto, en algunos casos puede ser: salud humana, ecosistemas y recursos naturales). (García, Herrera, & Rodríguez, 2011)

El software está dividido en las siguientes 6 etapas de cálculo que se describen a continuación:

1. Caracterización: Entrada de datos.
2. Inventario: Obtención del inventario.

3. Indicadores: Selección indicadores.
4. Impactos: Obtención matrices de impacto.
5. Resultados: Obtención resultados.
6. Gráficos: Definición gráficos a mostrar.

Tipo de informe

El informe del análisis realizado a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable “El Pórtico” y “Carmen de Tonchala” de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia será realizado mediante un documento escrito.

II. Análisis de Inventario

Esta fase consistió en realizar un inventario de los datos de entrada/salida de insumos, energía y flujos necesarios para llevar a cabo cada etapa del proceso de potabilización, en relación al sistema de estudio. Para llevar a cabo esta fase se recopiló información sobre los procesos de potabilización, a los cuales se les aplicó el análisis de ciclo de vida, posteriormente se analizaron las cantidades necesarias de insumos, energía consumida en cada proceso y el factor contaminante equivalente, empleado en el software para el cálculo de los impactos ambientales. Esto requirió dos tipos de fuentes de información: Fuentes primarias y secundarias.

Fuentes primarias: Información suministrada directamente por la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A ESP, soportada en documentación que la empresa dispuso para el caso de estudio.

Esta información corresponde a veinticuatro (24) meses de funcionamiento continuo, que comprende el periodo de enero de 2016 a diciembre de 2017, seleccionados por ser datos recientes, fehacientes y fiables sobre los procesos llevados a cabo en las plantas. Se elaboraron tablas de materiales gracias a la información de las fuentes secundarias en conjunto con las entradas y salida de insumos usados en los procesos de potabilización de las dos plantas.

Estas tablas se elaboraron usando la cantidad consumida de cada uno de los insumos, para luego dividirla sobre el total de agua producida en ese año dejando así los valores de cada elemento en términos de la unidad funcional (m^3).

Fuentes secundarias: Conocidas como bases de datos, proporcionan información necesaria para terminar de elaborar y analizar el inventario a través de programas informáticos especializados en esta temática. Para esto, se dedicó una considerable cantidad de tiempo en la búsqueda de elementos y flujos necesarios para llevar a cabo los procesos.

Con ayuda de la base de datos de Ecoinvent versión 3.1 se realizó el inventario de fuentes secundarias, esta base de datos del Centro de Inventarios de Ciclo de Vida, es un centro de competencia del Instituto Federal Suizo de Tecnología de Lausana, el Instituto Paul Scherrer, los Laboratorios Federales Suizos para el Ensayo de Materiales e investigación, y el Instituto de Ciencias de Sostenibilidad. (Leal, 2015)

Los insumos empleados en los procesos de potabilización se referenciaron en la base de datos digital Ecoinvent versión 3.1, por medio de los nombres técnicos de cada elemento se encontró la información correspondiente a cada material, sustancia y energía usados en los procesos de potabilización.

En las tablas 20 y 21, se encontrarán los inventarios de fuentes primarias y secundarias para los procesos de potabilización de las plantas El Pórtico y Carmen de Tonchala para los años 2016 y 2017.

Tabla 20 Inventario de fuentes primarias y secundarias para la PTAP El Pórtico

| Materiales | Unidad | 2016 | 2017 | Ecoinvent |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | Valor en función de UF | Valor en función de UF | |
| Consumo Eléctrico | Kwh/m ³ | 0,007203493 | 0,005563266 | Electricity Mix //[BR] |
| Hidroxocloruro de Aluminio | kg/m ³ | 0,002106122 | - | Aluminium hydroxide//[GLO] |
| AK-23 | kg/m ³ | 0,014077994 | 0,006139172 | Aluminium hydroxide//[GLO] |
| Cloro Gaseoso | kg/m ³ | 0,001921479 | 0,001656483 | Chlor-alkali Electrolysis [ROW] |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | kg/m ³ | 0,002005805 | 0,000104951 | Aluminium sulfate mix (production+market)[ROW] |
| Polifloc Q-2000 | kg/m ³ | 0,000059519 | 0,000063557 | Paraffin [GLO] |
| Superfloc C-576 | kg/m ³ | 0,000111343 | 0,000014281 | Polyacrylamide//[GLO] |
| Carbón Activado | kg/m ³ | 0,000053201 | 0,000024748 | Activated carbon [GLO] |
| Floquat FL-2665 | kg/m ³ | 0,000032246 | 0,000032246 | Polyacrylamide//[GLO] |

Fuente: Autor, 2019.

Tabla 21 Inventario de fuentes primarias y secundarias para la PTAP Carmen de Tonchala

| Materiales | unidad | 2016 | 2017 | Nombre en ecoinvent |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | Valor en función de UF | Valor en función de UF | |
| Consumo Eléctrico | Kwh/m ³ | 0,044102861 | 0,081918574 | Electricity Mix //[BR] |
| Hidroxloruro de Aluminio | kg/m ³ | 0,001017892 | 0,012189391 | aluminium hydroxide//[GLO] |
| Cloro Gaseoso | kg/m ³ | 0,001499895 | 0,001214565 | Chlor-alkali Electrolysis [ROW] |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | kg/m ³ | 0,004824277 | 0,009554252 | aluminium sulfate mix (production+market)[ROW] |
| Polifloc | kg/m ³ | 0,000023006 | 0,00005727 | Paraffin [GLO] |
| Superfloc C-576 | kg/m ³ | 0,000073671 | 0,000028581 | polyacrylamide//[GLO] |
| Floquat FL-2665 | kg/m ³ | - | 0,000051325 | polyacrylamide//[GLO] |

Fuente: Autor, 2019.

III. Evaluación del Impacto

Para la evaluación del impacto se usa la metodología CML2001, IPCC 2007 Y 2013 y ReCiPe Midpoint (H) considerando la base de datos de Ecoinvent 3,1. Los factores de emisión se calcularon con los indicadores de Calentamiento Global, Acidificación y Oxidación Fotoquímica para la metodología CML2001, Calentamiento Global para IPCC 2007 Y 2013.

La evaluación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero se realizó considerando los factores expresados en el Potencial de Calentamiento Global con un horizonte de tiempo de 100 años (GWP100) y expresados en Kg CO₂-equivalente por la Unidad Funcional que es el metro cúbico (m³). Para esto se aplicó la *Ecuación 1* y la *Ecuación 2* que aparece en metodología y los potenciales de calentamiento global para diferentes GEI públicos por la IPCC en el 2001, los cuales se muestran en la *tabla 1 Potencial de Calentamiento Global a 100 años*.

IV. Interpretación del Análisis del Ciclo de Vida

El estudio realizado a las PTAP El Pórtico y Carmen de Tonchala tiene como objeto resaltar procesos, insumos o flujos energéticos que intervengan directa o indirectamente en el medio ambiente. Por esta razón, en esta última etapa de ACV se presentará la información obtenida referente al análisis de ciclo de vida de manera gráfica y numérica, enfocándose en los procesos que presentan dichas características.

A raíz de lo anterior, y con la finalidad de llevar un sentido lógico, la información recolectada durante la aplicación de las fases del ACV se estipulo de la siguiente manera:

- En cada proceso se analizó de manera individual los datos primarios y secundarios para cada uno de los procesos.
- Obtenidos los datos, se computan en el LCA Manager para su respectivo análisis.
- Los resultados parciales obtenidos por proceso se comparan entre ellos para cada PTAP, luego se hace un consolidado global por planta y se comparan.
- Se analizan los resultados finales por planta.

Resultados del impacto ambiental

Haciendo uso del software LCA Manager se obtuvieron los siguientes resultados analizados por cada planta en su respectivo año.

Resultados Impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016

Los resultados obtenidos para el año 2016 se muestran en la siguiente tabla y figuras.

Tabla 22 Resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016

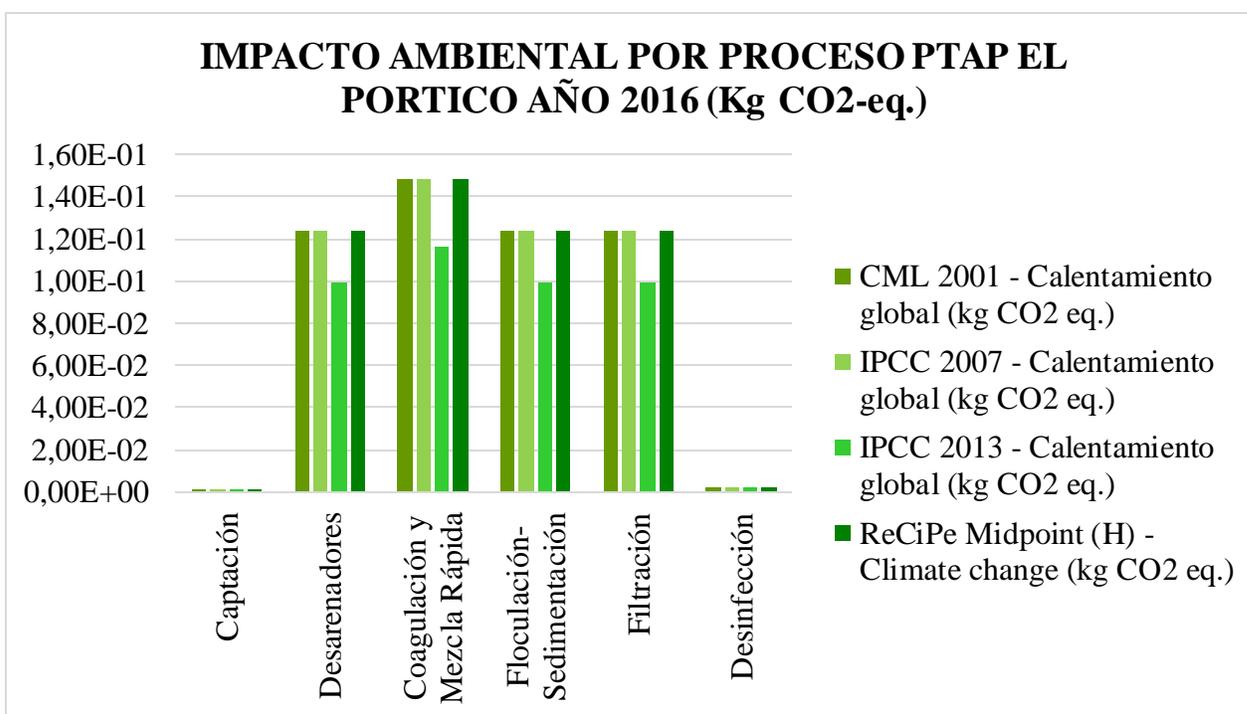
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo (kg co2 eq.) | Global proceso (kg co2 eq.) | Global planta (kg co2 eq.) |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| CML 2001- Calentamiento global | Captación | Electricidad | 2,63e-05 | 2,63e-05 | 2,68e-02 |
| | Desarenadores | Agua | 1,24e-01 | 1,97e-05 | |
| | | Electricidad | 1,97e-05 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,24e-01 | 2,46e-02 | |
| | | Pac | 2,52e-03 | | |
| | | Ak-23 | 1,69e-02 | | |
| | | Stb | 3,16e-03 | | |
| | | Superfloc | 6,30e-04 | | |
| | | Polifloc | 8,80e-05 | | |
| | | Electricidad | 1,28e-03 | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,24e-01 | 1,30e-04 | |
| | | Electricidad | 1,30e-04 | | |
| | Filtración | Agua | 1,24e-01 | 9,05e-09 | |
| | | Carbón activado | 9,05e-09 | | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,84e-03 | 2,02e-03 | | |
| | Electricidad | 1,79e-04 | | | |
| IPCC 2007- Calentamiento global | Captación | Electricidad | 2,63e-05 | 2,63e-05 | 2,68e-02 |
| | Desarenadores | Agua | 1,24e-01 | 1,97e-05 | |
| | | Electricidad | 1,97e-05 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,24e-01 | 2,46e-02 | |
| | | Pac | 2,52e-03 | | |
| Ak-23 | | 1,69e-02 | | | |

| | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------|----------|----------|
| IPCC 2013- Calentamiento global | | Stb | 3,16e-03 | |
| | | Superfloc | 6,30e-04 | |
| | | Polifloc | 8,80e-05 | |
| | | Electricidad | 1,28e-03 | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,24e-01 | |
| | | Electricidad | 1,30e-04 | 1,30e-04 |
| | Filtración | Agua | 1,24e-01 | |
| | | Carbón activado | 9,05e-09 | 9,05e-09 |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,84e-03 | 2,02e-03 |
| | | Electricidad | 1,79e-04 | |
| | Captación | Electricidad | 2,57e-05 | 2,63e-05 |
| | Desarenadores | Agua | 9,94e-02 | |
| | | Electricidad | 1,92e-05 | 1,92e-05 |
| | | Agua | 9,94e-02 | |
| | | Pac | 1,72e-03 | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Ak-23 | 1,15e-02 | |
| | | Stb | 1,98e-03 | 1,71e-02 |
| | | Superfloc | 5,70e-04 | |
| | | Polifloc | 7,01e-05 | 1,90e-02 |
| | Electricidad | 1,25e-03 | | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 9,94e-02 | | |
| | Electricidad | 1,27e-04 | 1,27e-04 | |
| Filtración | Agua | 9,94e-02 | | |
| | Carbón activado | 7,77e-09 | 7,77e-09 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,60e-03 | 1,77e-03 | |
| | Electricidad | 1,74e-04 | | |
| Captación | Electricidad | 2,58e-05 | 2,63e-05 | |
| Desarenadores | Agua | 1,23e-01 | | |
| | Electricidad | 1,93e-05 | 1,93e-05 | |
| | Agua | 1,23e-01 | 2,67e-02 | |
| Coagulación y mezcla rápida | Pac | 2,52e-03 | | |
| | Ak-23 | 1,68e-02 | 2,45e-02 | |
| | Stb | 3,15e-03 | | |
| | Superfloc | 6,29e-04 | | |
| ReCiPe Midpoint (h)- Cambio Climático | | | | |

| | | | |
|---------------------------|-----------------|----------|----------|
| | Polifloc | 8,78e-05 | |
| | Electricidad | 1,26e-03 | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 1,23e-01 | |
| | Electricidad | 1,27e-04 | 1,27e-04 |
| Filtración | Agua | 1,23e-01 | |
| | Carbón activado | 8,94e-09 | 8,94e-09 |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,84e-03 | 2,02e-03 |
| | Electricidad | 1,75e-04 | |

Fuente: Autor, 2019.

Figura 9 resultados impacto ambiental PTAP el Pórtico año 2016 (Kg CO₂-eq)



Fuente: Autor, 2019.

Para el año 2016, en la PTAP “El Pórtico” se generó para las metodologías ReCiPe Midpoint (H), CML 2001 y la IPCC 2007 un total de 5,21E-01 Kg CO₂ eq/m³, por cada una; a diferencia de la metodología IPCC 2013 por el cual se obtuvo un total de 4,17E-01 Kg CO₂ eq/m³ siendo el más bajo de los cuatro. La fase con mayor impacto para el año en estudio es la Coagulación y Mezcla Rápida, con un valor de 1,47E-01 Kg CO₂ eq/m³ para CML 2001, IPCC 2007 Y ReCiPe Midpoint y 1,16E-01 Kg CO₂ eq/m³ para IPCC 2013; en la filtración, floculación-sedimentación y desarenadores se da el mismo nivel de

contaminación con valores de 1,24E-01 Kg CO₂ eq/m³ para CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint y 9,94E-02 Kg CO₂ eq/m³ para IPCC 2013. La gran cantidad de emisiones de CO₂ eq/m³ generadas en estos procesos mencionados se debe por el uso de agua para el lavado de filtros, sedimentadores, floculadores y desarenadores; en la coagulación y mezcla rápida el mayor aporte se da por lo mencionado anteriormente, pero el consumo de aditivos como coagulantes y coayudantes suman al impacto ambiental que deja esta fase al proceso global. Los procesos de captación y desinfección A continuación, se presentan otros indicadores evaluados.

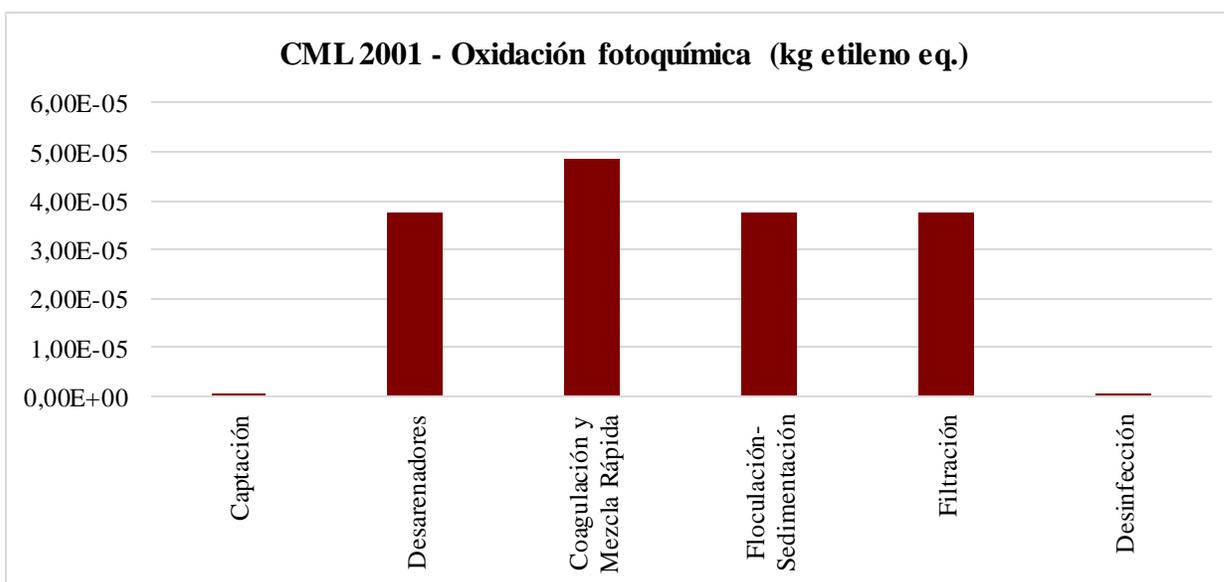
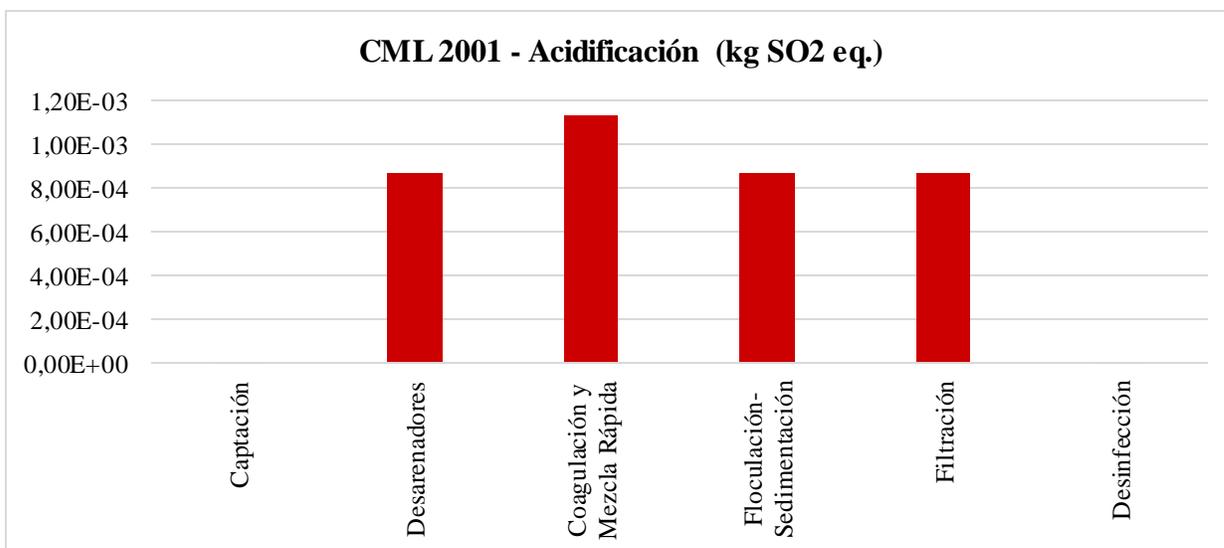
Tabla 23 Otros resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2016

| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo | Global proceso | Global planta |
|---|-----------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| CML 2001 - Acidificación (kg SO ₂ eq.) | Captación | Electricidad | 8,43E-08 | 2,63E-05 | |
| | Desarenadores | Agua | 8,72E-04 | 6,31E-08 | 2,97E-04 |
| | | Electricidad | 6,31E-08 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 8,72E-04 | 2,60E-04 | |
| | | Pac | 2,77E-05 | | |
| | | Ak-23 | 1,85E-04 | | |
| | | Stb | 3,85E-05 | | |
| | | Superfloc | 3,66E-06 | | |
| | | Polifloc | 6,44E-07 | | |
| | | Electricidad | 4,11E-06 | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 8,72E-04 | 4,16E-07 | |
| | | Electricidad | 4,16E-07 | | |
| | Filtración | Agua | 8,72E-04 | 5,24E-11 | |
| Carbón activado | | 5,24E-11 | | | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 9,25E-06 | 9,82E-06 | | |
| | Electricidad | 5,72E-07 | | | |
| CML 2001 - Oxidación fotoquímica (kg etileno eq.) | Captación | Electricidad | 4,93E-09 | 2,63E-05 | |
| | Desarenadores | Agua | 3,78E-05 | 3,69E-09 | |
| | | Electricidad | 3,69E-09 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,78E-05 | 1,09E-05 | 3,77E-05 |
| | | Pac | 1,15E-06 | | |
| | | Ak-23 | 7,67E-06 | | |
| | | Stb | 1,65E-06 | | |
| | | Superfloc | 1,39E-07 | | |
| | | Polifloc | 2,47E-08 | | |
| | | Electricidad | 2,41E-07 | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 3,78E-05 | 2,44E-08 | |
| | | Electricidad | 2,44E-08 | | |
| | Filtración | Agua | 3,78E-05 | 3,86E-12 | |

| | | | |
|--------------|-----------------|----------|----------|
| | Carbon activado | 3,86E-12 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 4,12E-07 | 4,46E-07 |
| | Electricidad | 3,35E-08 | |

Fuente: Autor, 2019

Figura 10 otros impactos ambientales PTAP el Pórtico año 2016



Fuente: Autor, 2019

En la figura 9, se observa que el indicador de acidificación y el de oxidación fotoquímica develan un tope en la fase de coagulación y mezcla rápida de 1,13E-03 kg SO₂ eq y 4,86E-05 kg etileno eq respectivamente. Con un valor de 8,72E-04 kg SO₂ eq y 3,78E-05 kg

etileno eq para las fases de filtración, floculación-sedimentación y desarenadores; todos los procesos anteriormente nombrados arrojaron resultados que demuestran que la acidificación del fluido y la oxidación fotoquímica del mismo se produce principalmente por el uso de agua para el lavado de las unidades y las reacciones químicas ocasionadas por los coagulantes y coayudantes adicionados en la etapa de coagulación y mezcla rápida; por el contrario de la captación y desinfección con valores de 8,43E-08 kg SO₂ eq y 9,82E-06 kg SO₂ eq para el indicador de acidificación y 4,93E-09 kg etileno eq y 4,46E-07 kg etileno eq para la oxidación fotoquímica, respectivamente, demarcando que el grado de contaminación que generan de manera global al proceso es casi insignificante a comparación del resto.

Resultados Impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017

Los resultados obtenidos para el año 2017 se muestran en la siguiente tabla y figuras.

Tabla 24 Resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017

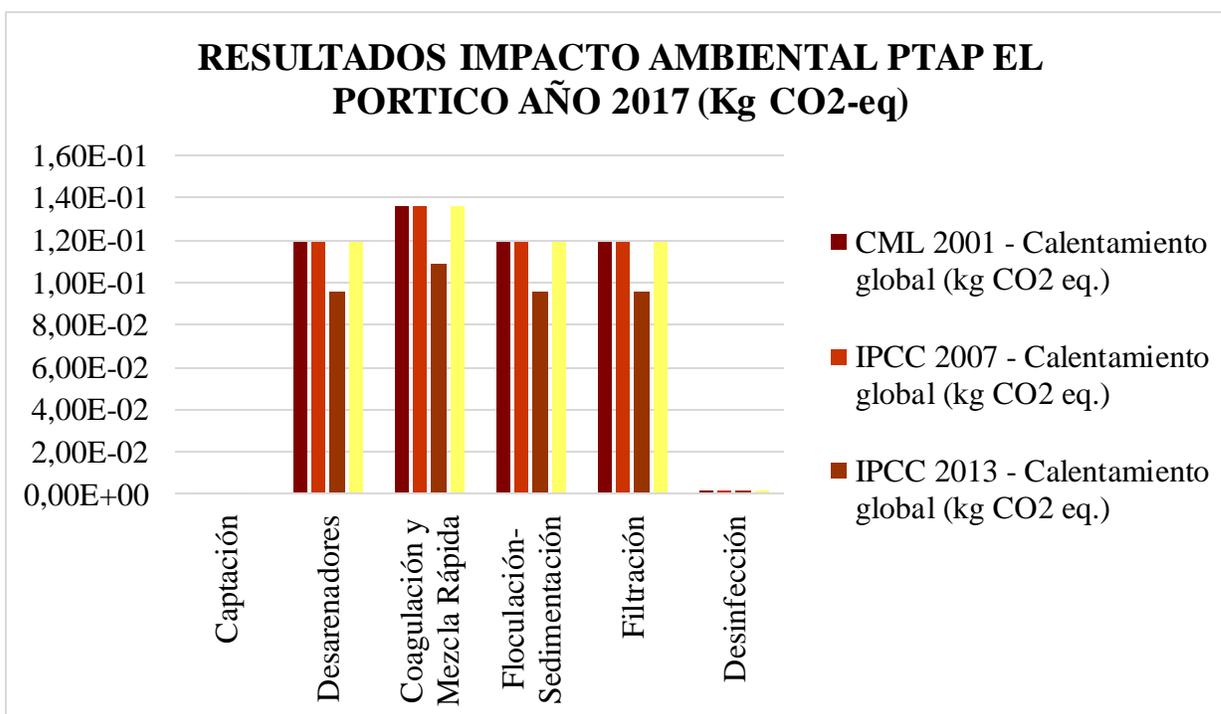
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo (Kg CO ₂ eq.) | Global proceso (Kg CO ₂ eq.) | Global planta (Kg CO ₂ eq.) | |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|---|---|--|----------|
| CML 2001- Calentamiento Global | Captación | Electricidad | 2,32E-05 | 2,63E-05 | | |
| | Desarenadores | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | | |
| | | Electricidad | 1,80E-05 | | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,19E-01 | 1,36E-01 | | |
| | | Sulfloc nr-13 | 7,76E-03 | | | |
| | | Ak-23 | 7,36E-03 | | | |
| | | Stb | 1,65E-04 | | | |
| | | Superfloc | 8,08E-05 | | | |
| | | Polifloc | 9,39E-05 | | | |
| | | Floquat fl-2565 | 1,83E-04 | | | 4,96E-01 |
| | | Electricidad | 9,87E-04 | | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | | |
| | | Electricidad | 1,00E-04 | | | |
| | Filtración | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | | |
| | | Carbón activado | 4,21E-09 | | | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,59E-03 | 1,73E-03 | | | |
| | Electricidad | 1,37E-04 | | | | |
| IPCC 2007- Calentamiento | Captación | Electricidad | 2,32E-05 | 2,63E-05 | 4,96E-01 | |
| | Desarenadores | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | | |
| | | Electricidad | 1,80E-05 | | | |

| | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------|----------|----------|--|
| IPCC 2013- Calentamiento Global | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,19E-01 | 1,36E-01 | |
| | | Sulfloc nr-13 | 7,76E-03 | | |
| | | Ak-23 | 7,36E-03 | | |
| | | Stb | 1,65E-04 | | |
| | | Superfloc | 8,08E-05 | | |
| | | Polifloc | 9,39E-05 | | |
| | | Floquat fl-2565 | 1,83E-04 | | |
| | Electricidad | 9,88E-04 | | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | |
| | | Electricidad | 1,00E-04 | | |
| | Filtración | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | |
| | | Carbón activado | 4,21E-09 | | |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,59E-03 | 1,73E-03 | |
| | | Electricidad | 1,37E-04 | | |
| Captación | Electricidad | 2,27E-05 | 2,63E-05 | | |
| Desarenadores | Agua | 9,59E-02 | 9,59E-02 | | |
| | Electricidad | 1,76E-05 | | | |
| Coagulación y mezcla rápida | Agua | 9,59E-02 | 1,08E-01 | 3,98E-01 | |
| | Sulfloc nr-13 | 6,18E-03 | | | |
| | Ak-23 | 5,01E-03 | | | |
| | Stb | 1,04E-04 | | | |
| | Superfloc | 7,31E-05 | | | |
| | Polifloc | 7,49E-05 | | | |
| | Floquat fl-2565 | 1,65E-04 | | | |
| Electricidad | 9,63E-04 | | | | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 9,59E-02 | 9,60E-02 | | |
| | Electricidad | 9,76E-05 | | | |
| Filtración | Agua | 9,59E-02 | 9,59E-02 | | |
| | Carbón activado | 3,62E-09 | | | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,38E-03 | 1,51E-03 | | |
| | Electricidad | 1,34E-04 | | | |
| Captación | Electricidad | 2,28E-05 | 2,63E-05 | | |
| Desarenadores | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 | 4,95E-01 | |
| | Electricidad | 1,76E-05 | | | |
| Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,19E-01 | 1,36E-01 | | |
| | Sulfloc nr-13 | 7,75E-03 | | | |

| | | | |
|---------------------------|-----------------|----------|----------|
| | Ak-23 | 7,34E-03 | |
| | Stb | 1,65E-04 | |
| | Superfloc | 8,07E-05 | |
| | Polifloc | 9,38E-05 | |
| | Floquat fl-2565 | 1,82E-04 | |
| | Electricidad | 9,67E-04 | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 |
| | Electricidad | 1,27E-04 | |
| Filtración | Agua | 1,19E-01 | 1,19E-01 |
| | Carbón activado | 8,94E-09 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,84E-03 | 2,02E-03 |
| | Electricidad | 1,75E-04 | |

Fuente: Autor, 2019

Figura 11 Resultados impacto ambiental PTAP el Pórtico año 2017 (Kg CO₂-eq)



Fuente: Autor, 2019

Como se observa en la Figura 10, las metodologías CML 2001 y IPCC 2007 arrojaron valores iguales en sus impactos con un total de 4,96E-01 Kg CO₂ eq/m³, siguiendo con ReCiPe Midpoint con un total ligeramente inferior de 4,95E-01 Kg CO₂ eq/m³ y por último

la metodología IPCC 2013 con un valor de 3,98E-01 Kg CO₂ eq/m³. Al igual que para el año, la PTAP El Pórtico presenta su foco de mayor contaminación en la fase de Coagulación y Mezcla Rápida con valores de 1,36E-01 Kg CO₂ eq/m³ para las metodologías CML 2001, IPCC 2007 Y ReCiPe Midpoint y con el valor más bajo para esta fase la IPCC 2013 con 1,08E-01 Kg CO₂ eq/m³. En etapas como filtración, floculación-sedimentación y desarenadores la carga contaminante es la misma para las metodologías CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint con un valor de 1,19E-01 Kg CO₂ eq/m³ y para la IPCC 2013 un tanto inferior de 9,59E-02 Kg CO₂ eq/m³. Las fases restantes, no representan un nivel significativo de contaminación para el proceso de potabilización llegando a ser casi despreciables a comparación de los otros procesos.

A continuación, se presentan otros indicadores evaluados

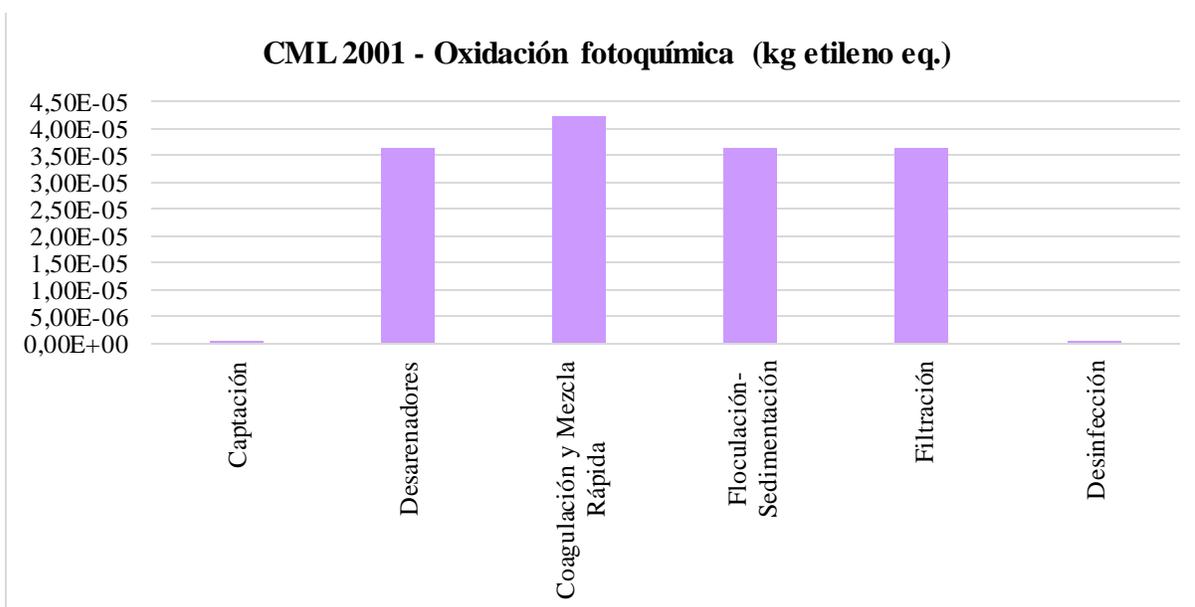
Tabla 25 Otros resultados de impacto ambiental PTAP El Pórtico año 2017

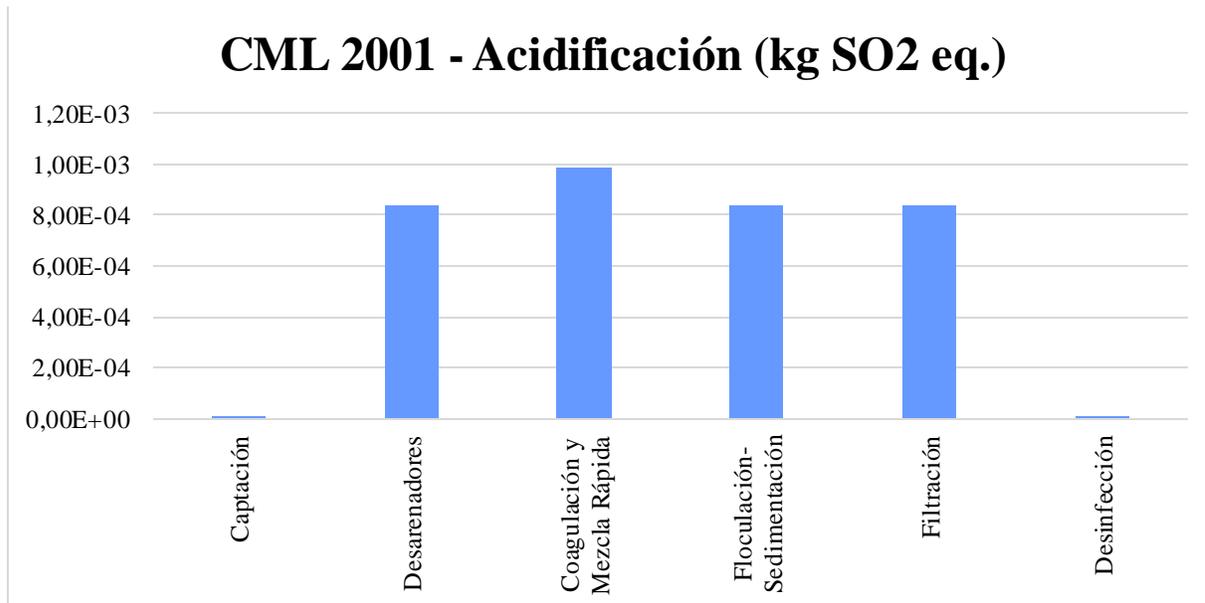
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo | Global proceso | Global planta |
|---|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|
| CML 2001 - Acidificación (kg SO ₂ eq.) | Captación | Electricidad | 7,44E-08 | 2,63E-05 | |
| | Desarenadores | Agua | 8,41E-04 | 8,41E-04 | |
| | | Electricidad | 5,77E-08 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 8,41E-04 | | 9,86E-04 |
| | | Sulfloc nr-13 | 5,68E-05 | | |
| | | Ak-23 | 8,09E-05 | | |
| | | Stb | 2,01E-06 | | |
| | | Superfloc | 6,88E-07 | | |
| | | Polifloc | 6,44E-07 | | |
| | | Floquat fl-2565 | 1,06E-06 | | |
| | Floculación-sedimentación | Electricidad | 3,16E-06 | | 8,41E-04 |
| | | Agua | 8,41E-04 | | |
| | Filtración | Agua | 8,41E-04 | | 8,41E-04 |
| | | Carbón activado | 2,44E-11 | | |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 7,97E-06 | | 8,41E-06 |
| Electricidad | | 4,40E-07 | | | |
| CML 2001 - Oxidación fotoquímica (kg etileno eq.) | Captación | Electricidad | 4,35E-09 | 2,63E-05 | |
| | Desarenadores | Agua | 3,64E-05 | 3,64E-05 | |
| | | Electricidad | 3,37E-09 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,64E-05 | | 4,23E-05 |
| | | Sulfloc nr-13 | 2,18E-06 | | |
| | | Ak-23 | 3,34E-06 | | |
| | | Stb | 8,62E-08 | | |
| | | Superfloc | 1,78E-08 | | |
| | | Polifloc | 2,64E-08 | | |

| | | | |
|---------------------------|-----------------|----------|----------|
| | Floquat fl-2565 | 4,02E-08 | |
| | Electricidad | 1,85E-07 | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 3,64E-05 | 3,64E-05 |
| | Electricidad | 1,87E-08 | |
| Filtración | Agua | 3,64E-05 | 3,64E-05 |
| | Carbón activado | 1,80E-12 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 3,56E-07 | 3,81E-07 |
| | Electricidad | 2,57E-08 | |

Fuente: Autor, 2019

Figura 12 Otros impactos ambientales PTAP el Pórtico AÑO 2017





Fuente: Autor, 2019

Como se observa en la figura 11, nuevamente la fase con mayor impacto ambiental según los indicadores de acidificación y oxidación fotoquímica es la de Coagulación y Mezcla Rápida con un valor de $9,86E-04$ kg SO₂ eq y $4,23E-05$ kg etileno eq, respectivamente para cada indicador, esto es causado por el agua que es empleada para el lavado de unidades y los insumos que son adicionados al proceso. Le siguen las etapas de desarenadores, floculación-sedimentación y filtración con valores de $8,41E-04$ kg SO₂ eq para acidificación y $3,64E-05$ kg etileno eq para la oxidación fotoquímica, al igual que en el proceso anterior, estos 3 también emplean agua potabilizada para el lavado y limpieza de sus unidades. Por último, se encuentra las etapas de desinfección y captación, que al igual que el año anterior (2016) siguen sin representar un gran impacto al proceso total.

Resultados Impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016

Los resultados obtenidos para el año 2016 se muestran en la siguiente tabla y figuras.

Tabla 26 Resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016

| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo (kg CO ₂ eq.) | Global proceso (kg CO ₂ eq.) | Global planta (kg CO ₂ eq.) |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------|---|---|--|
| CML 2001- Calentamiento Global | Estación Termotasajero | Electricidad | 9,21E-03 | 2,63E-05 | 1,52E+00 |
| | | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 | |
| | Cámara de quiebre | Electricidad | 5,27E-05 | 3,75E-01 | |
| | | Agua | 3,75E-01 | 3,93E-01 | |

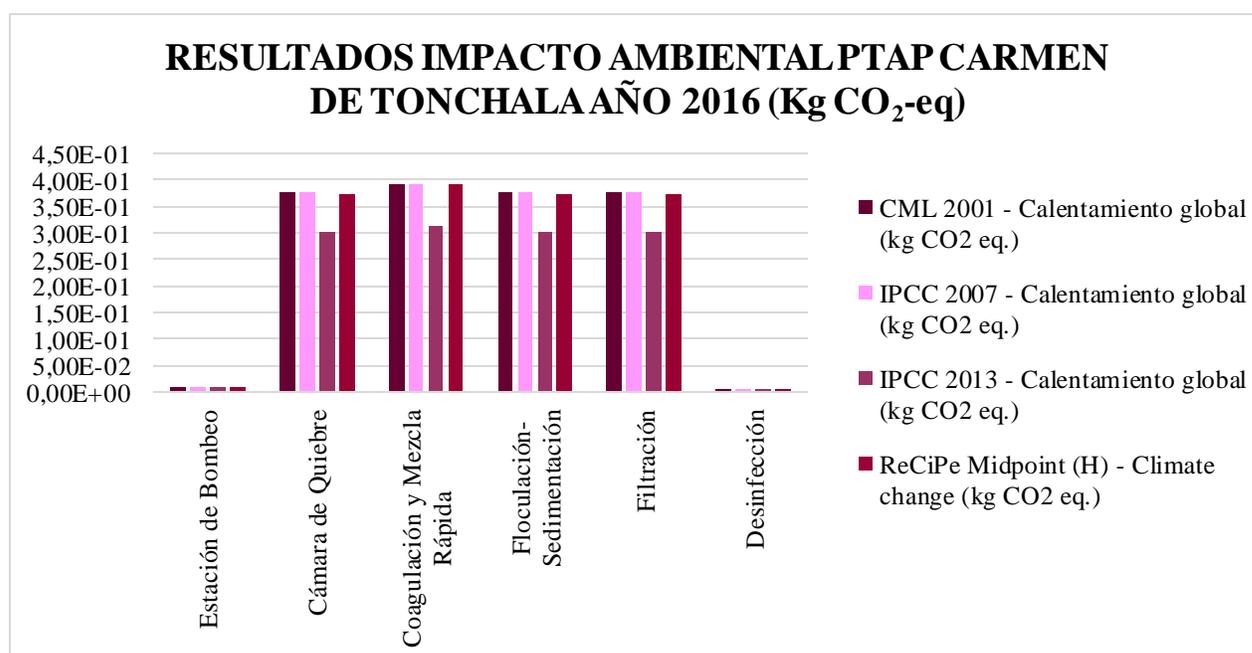
| | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------|----------|----------|
| IPCC 2007- Calentamiento Global | Coagulación y mezcla rápida | Pac | 9,73E-03 | |
| | | Stb | 7,60E-03 | |
| | | Superfloc | 4,17E-04 | |
| | | Polifloc | 3,40E-05 | |
| | | Electricidad | 2,32E-04 | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 3,75E-01 | 3,76E-01 |
| | | Electricidad | 1,96E-04 | |
| | Filtración | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,44E-03 | 1,60E-03 |
| | | Electricidad | 1,57E-04 | |
| | Estación Termotasajero | Electricidad | 9,21E-03 | 2,63E-05 |
| | Cámara de quiebre | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 |
| | | Electricidad | 5,27E-05 | |
| Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,75E-01 | | |
| | Pac | 9,73E-03 | | |
| | Stb | 7,60E-03 | 3,93E-01 | |
| | Superfloc | 4,17E-04 | | |
| | Polifloc | 3,40E-05 | 1,52E+00 | |
| | Electricidad | 2,32E-04 | | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 3,75E-01 | 3,76E-01 | |
| | Electricidad | 1,96E-04 | | |
| Filtración | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,44E-03 | 1,60E-03 | |
| | Electricidad | 1,57E-04 | | |
| IPCC 2013- Calentamiento Global | Estación Termotasajero | Electricidad | 8,99E-03 | 2,63E-05 |
| | Cámara de quiebre | Agua | 3,02E-01 | 3,02E-01 |
| | | Electricidad | 5,14E-05 | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,02E-01 | |
| | | Pac | 6,62E-03 | |
| | | Stb | 4,76E-03 | 3,14E-01 |
| | | Superfloc | 3,77E-04 | 1,22E+00 |
| | | Polifloc | 2,71E-05 | |
| | | Electricidad | 2,26E-04 | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 3,02E-01 | 3,02E-01 |
| | | Electricidad | 1,92E-04 | |
| | Filtración | Agua | 3,02E-01 | 3,02E-01 |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|----------|
| ReCiPe Midpoint (H)-Cambio Climatico | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,25E-03 | 1,40E-03 |
| | | Electricidad | 1,54E-04 | |
| | Estación Termotasajero | Electricidad | 9,03E-03 | 2,63E-05 |
| | | Cámara de quiebre | Agua | 3,75E-01 |
| | Electricidad | | 5,17E-05 | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,75E-01 | 3,93E-01 |
| | | Pac | 9,70E-03 | |
| | | Stb | 7,59E-03 | |
| | | Superfloc | 4,16E-04 | |
| | | Polifloc | 3,40E-05 | |
| | | Electricidad | 2,27E-04 | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 |
| | | Electricidad | 1,92E-04 | |
| | Filtración | Agua | 3,75E-01 | 3,75E-01 |
| | | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,44E-03 |
| Electricidad | 1,54E-04 | | | |

1,52E+00

Fuente: Autor, 2019

Figura 13 Resultados impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016 (Kg CO₂-eq)



Fuente: Autor, 2019

En la figura 12, se ve el resultado del impacto ambiental en la PTAP Carmen de Tonchala para el año 2016 representado gráficamente, detallando que para las fases de cámara de quiebre, floculación-sedimentación y filtración hay una homogeneidad en los datos con valores de $3,75E-01$ Kg CO₂ eq/m³ en metodologías como CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint y $3,02E-01$ Kg CO₂ eq/m³; esto es superado levemente por la fase de coagulación y mezcla rápida con resultados de $3,93E-01$ Kg CO₂ eq/m³ para CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint, y $3,14E-01$ Kg CO₂ eq/m³ para IPCC 2013. Para el proceso de bombeo en la Estación Termotasajero, se llega a apreciar un pequeño y sutil montículo de contaminación con valores muy por debajo de los procesos anteriores, para las metodologías de CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint arrojo valores de $9,21E-03$ Kg CO₂ eq/m³ y para IPCC 2013 DE $8,99E-03$ Kg CO₂ eq/m³. La fase que no tiene repercusión de manera significativa al proceso de potabilización llevado a cabo en la planta es la desinfección, con valores de $1,60E-03$ Kg CO₂ eq/m³ para de CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint y $1,40E-03$ Kg CO₂ eq/m³ para IPCC 2013, siendo esa la más baja de los 6 procesos.

A continuación, se presentan otros indicadores evaluados

Tabla 27 Otros resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2016

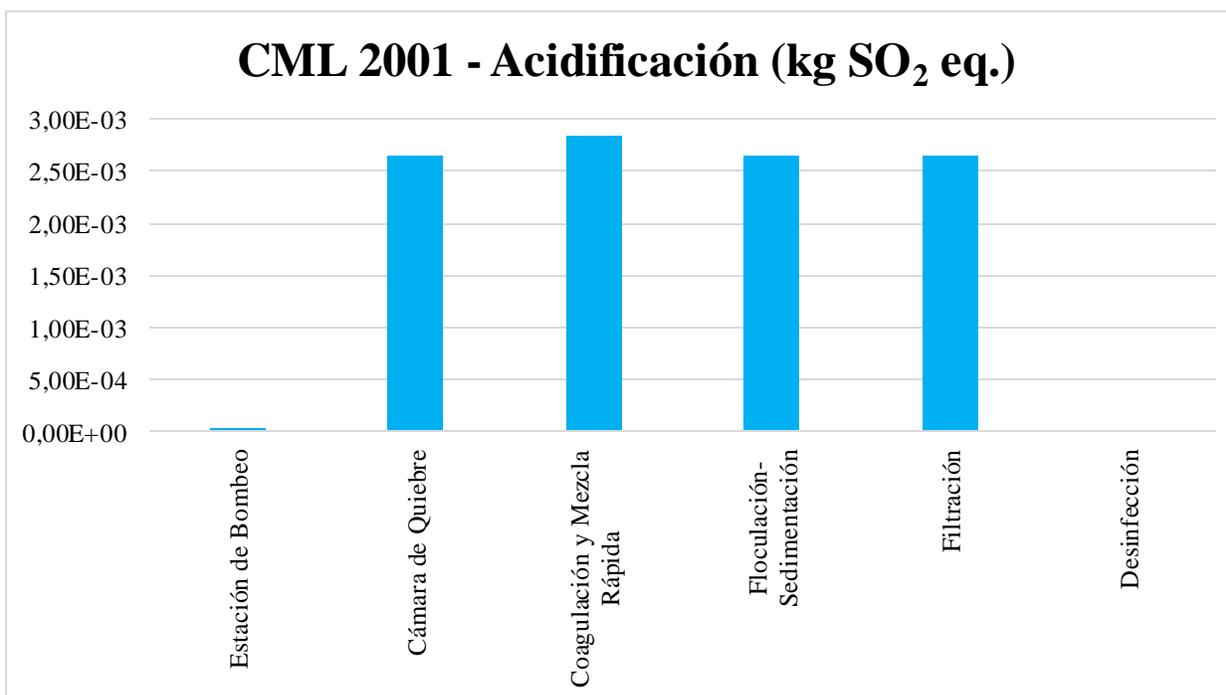
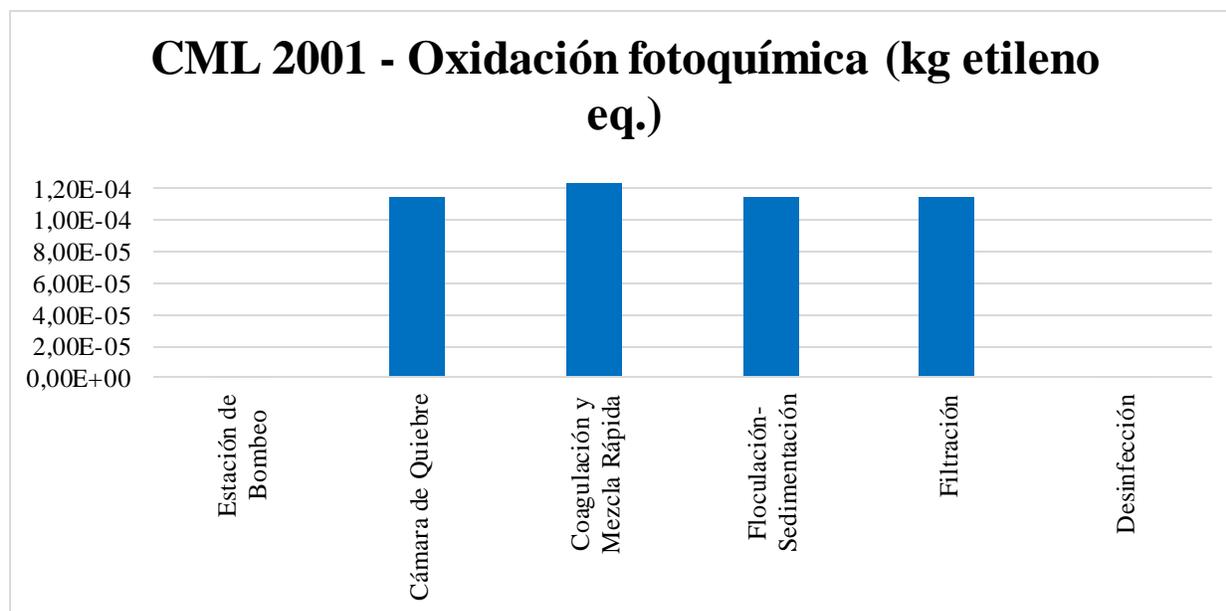
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo | Global proceso | Global planta |
|---|---------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|---------------|
| CML 2001 - Acidificación (kg SO ₂ eq.) | Estación Termotasajero | Electricidad | 2,95E-05 | 2,63E-05 | 1,08E-02 |
| | | Cámara de quiebre | Agua | | |
| | Cámara de quiebre | Electricidad | 1,69E-07 | 2,65E-03 | |
| | | Coagulación y mezcla rápida | Agua | | |
| | Pac | | 1,07E-04 | | |
| | Stb | | 9,26E-05 | | |
| | Superfloc | | 2,42E-06 | | |
| | Polifloc | | 2,49E-07 | | |
| | Electricidad | | 7,41E-07 | | |
| | Floculación-sedimentación | | Agua | 2,65E-03 | |
| | | Electricidad | 6,28E-07 | | |

| | | | | | |
|---|-----------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| CML 2001 - Oxidación fotoquímica (kg etileno eq.) | Filtración | Agua | 2,65E-03 | 2,65E-03 | |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 7,22E-06 | | 7,72E-06 |
| | | Electricidad | 5,04E-07 | | |
| | Estación Termotasajero | Electricidad | 1,73E-06 | | 2,63E-05 |
| | Cámara de quiebre | Agua | 1,15E-04 | | 1,15E-04 |
| | | Electricidad | 9,88E-09 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,15E-04 | | 1,23E-04 |
| | | Pac | 4,42E-06 | | |
| | | Stb | 3,96E-06 | | |
| | | Superfloc | 9,19E-08 | | |
| | | Polifloc | 9,55E-09 | | |
| | | Electricidad | 4,34E-08 | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,15E-04 | | 1,15E-04 |
| | | Electricidad | 3,68E-08 | | |
| Filtración | Agua | 1,15E-04 | | 1,15E-04 | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 3,22E-07 | | 3,51E-07 | |
| | Electricidad | 2,95E-08 | | | |

Fuente: Autor, 2019

A continuación, se presentan otros indicadores evaluados

Figura 14 Otros impactos ambientales PTAP Carmen de Tonchala año 2016



Fuente: Autor, 2019

En la figura 13, los indicadores de oxidación fotoquímica y acidificación dejan evidenciar que el pináculo de la contaminación se genera en la fase de coagulación y mezcla rápida con valores de 1,23E-04 kg etileno eq. para oxidación fotoquímica y 2,85E-03 kg SO₂ eq. Seguida por las fases de cámara de quiebre, floculación-sedimentación y filtración con

valores de $1,15E-04$ kg etileno eq en el indicador de oxidación fotoquímica y $2,65E-03$ kg SO_2 eq para el indicador de acidificación; y con un impacto significativamente menor esta la estación de bombeo y desinfección, que en relación a las fases anteriores su aporte al impacto es levemente perceptible con valores de $1,73E-06$ kg etileno eq y $3,51E-07$ kg etileno eq para el indicador de oxidación fotoquímica y $2,95E-05$ kg SO_2 eq y $7,72E-06$ kg SO_2 eq para acidificación, para la estación de bombeo y desinfección respectivamente.

Resultados Impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017

Los resultados obtenidos para el año 2017 se muestran en la siguiente tabla y figuras.

Tabla 28 Resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017

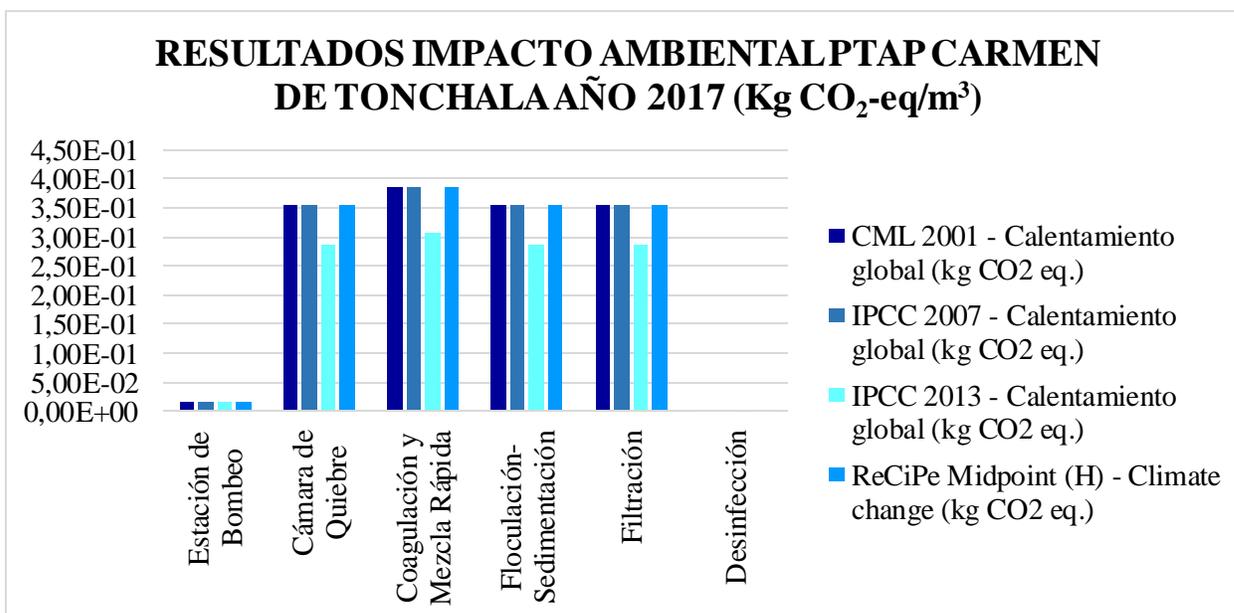
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo (kg CO_2 eq.) | Global proceso (kg CO_2 eq.) | Global planta (kg CO_2 eq.) |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| CML 2001 - Calentamiento Global | Estación Termotasajero | Electricidad | 1,54E-02 | 2,63E-05 | |
| | | Agua | 3,56E-01 | | |
| | Cámara de quiebre | Electricidad | 6,04E-05 | 3,56E-01 | |
| | | Agua | 3,56E-01 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Pac | 1,46E-02 | | |
| | | Stb | 1,51E-02 | | |
| | | Superfloc | 1,62E-04 | 3,86E-01 | |
| | | Polifloc | 8,46E-05 | | |
| | | Floquat fl-2565 | 2,91E-04 | | |
| | | Electricidad | 2,84E-04 | | |
| | | 1,46E+00 | | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 3,56E-01 | | |
| | | Electricidad | 2,46E-04 | 3,56E-01 | |
| | Filtración | Agua | 3,56E-01 | 3,56E-01 | |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,17E-03 | | |
| Electricidad | | 2,04E-04 | 1,37E-03 | | |
| IPCC 2007- Calentamiento Global | Estación Termotasajero | Electricidad | 1,54E-02 | 2,63E-05 | |
| | | Agua | 3,56E-01 | | |
| | Cámara de quiebre | Electricidad | 6,04E-05 | 3,56E-01 | 1,46E+00 |
| | | Agua | 3,56E-01 | 3,86E-01 | |

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------|----------|
| ReCiPe Midpoint (H)- Cambio Climático | IPCC 2013-Calentamiento Global | Coagulación y mezcla rápida | Pac | 1,46E-02 | |
| | | | Stb | 1,51E-02 | |
| | | | Superfloc | 1,62E-04 | |
| | | | Polifloc | 8,46E-05 | |
| | | | Floquat fl-2565 | 2,91E-04 | |
| | | | Electricidad | 2,84E-04 | |
| | | Floculación-sedimentación | Agua | 3,56E-01 | 3,56E-01 |
| | | | Electricidad | 2,46E-04 | |
| | | Filtración | Agua | 3,56E-01 | 3,56E-01 |
| | | Desinfección | Cloro gaseoso | 1,17E-03 | 1,37E-03 |
| | | | Electricidad | 2,04E-04 | |
| | | Estación Termotasajero | Electricidad | 1,50E-02 | 2,63E-05 |
| | | Cámara de quiebre | Agua | 2,86E-01 | 2,86E-01 |
| | | | Electricidad | 5,89E-05 | |
| | | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 2,86E-01 | |
| | | | Pac | 9,95E-03 | |
| | | | Stb | 9,43E-03 | |
| | | | Superfloc | 1,46E-04 | 3,06E-01 |
| | | | Polifloc | 6,75E-05 | |
| | | | Floquat fl-2565 | 2,63E-04 | 8,79E-01 |
| Electricidad | 2,77E-04 | | | | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 2,86E-01 | 2,86E-01 | | |
| | Electricidad | 2,40E-04 | | | |
| Filtración | Carbon activado | 3,62E-09 | 3,62E-09 | | |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,01E-03 | 1,21E-03 | | |
| | Electricidad | 1,99E-04 | | | |
| Estación Termotasajero | Electricidad | 1,50E-02 | 2,63E-05 | | |
| Cámara de quiebre | Agua | 3,55E-01 | 3,55E-01 | | |
| | | | 1,10E+00 | | |

| | | | |
|-----------------------------|-----------------|----------|----------|
| | Electricidad | 5,91E-05 | |
| Coagulación y mezcla rápida | Agua | 3,55E-01 | |
| | Pac | 1,46E-02 | |
| | Stb | 1,50E-02 | |
| | Superfloc | 1,62E-04 | 3,86E-01 |
| | Polifloc | 8,45E-05 | |
| | Floquat fl-2565 | 2,90E-04 | |
| | Electricidad | 2,78E-04 | |
| Floculación-sedimentación | Agua | 3,55E-01 | |
| | Electricidad | 2,41E-04 | 3,55E-01 |
| Filtración | Carbon activado | 8,94E-09 | 8,94E-09 |
| Desinfección | Cloro gaseoso | 1,16E-03 | |
| | Electricidad | 2,00E-04 | 1,36E-03 |

Fuente: Autor, 2019

Figura 15 Resultados impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017 (Kg CO₂-eq)



Fuente: Autor, 2019

Para el año 2017 en la PTAP de Carmen de Tonchala, los resultados se ven de manera gráfica en la figura 15, en la cual se observa que la fase de mayor contaminación (al igual que en el año anterior y en la planta de El Pórtico) es Coagulación y Mezcla rápida con valores $3,86E-01$ Kg CO₂-eq para las metodologías de CML 2001, IPCC 2007 y ReCiPe Midpoint y $3,06E-01$ Kg CO₂-eq/m³ para la IPCC 2013. Seguidamente, con valores sutilmente por debajo del pináculo de contaminación se encuentran las fases de Cámara de quiebre, floculación-sedimentación y filtración con resultados de $3,56E-01$ Kg CO₂-eq/m³ para CML 2001 y IPCC 2007, $3,55E-01$ Kg CO₂-eq/m³ para ReCiPe Midpoint y $2,86E-01$ Kg CO₂-eq/m³; esto se debe a que en estos 4 procesos nombrados anteriormente, se usa agua potable para el lavado y limpieza de sus unidades, y en la coagulación y mezcla rápida la adición de insumos como coagulantes y coayudantes aumenta la carga contaminante de la fase posicionándola como la de mayor impacto en toda la PTAP. Por otro lado, las fases de Estación de bombeo y desinfección no representan un gran nivel de afectación por sus bajos niveles de contaminación con valores de $1,54E-02$ Kg CO₂-eq/m³ en la estación de bombeo y $1,37E-03$ Kg CO₂-eq/m³ para desinfección en las metodologías CML 2001 e IPCC 2007, en la IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint dieron los mismos resultados para la estación de Termotasajero con un total de $1,50E-02$ Kg CO₂-eq/m³ y en la desinfección valores de $1,21E-03$ Kg CO₂-eq/m³ y $1,36$ Kg CO₂-eq/m³ para IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint respectivamente.

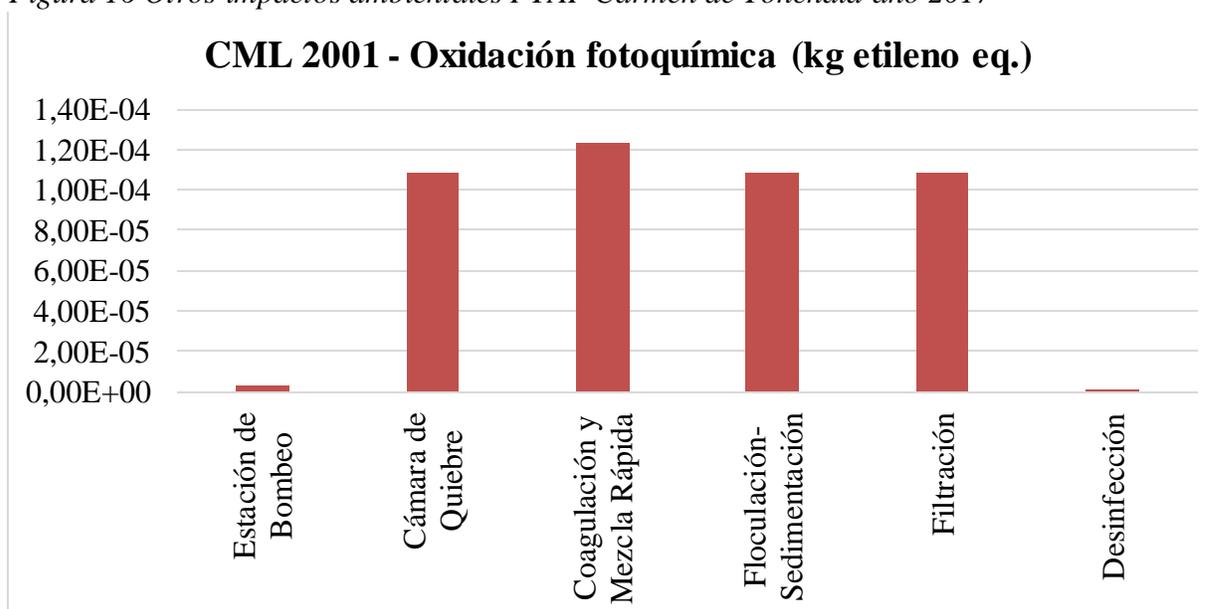
Tabla 29 Otros resultados de impacto ambiental PTAP Carmen de Tonchala año 2017

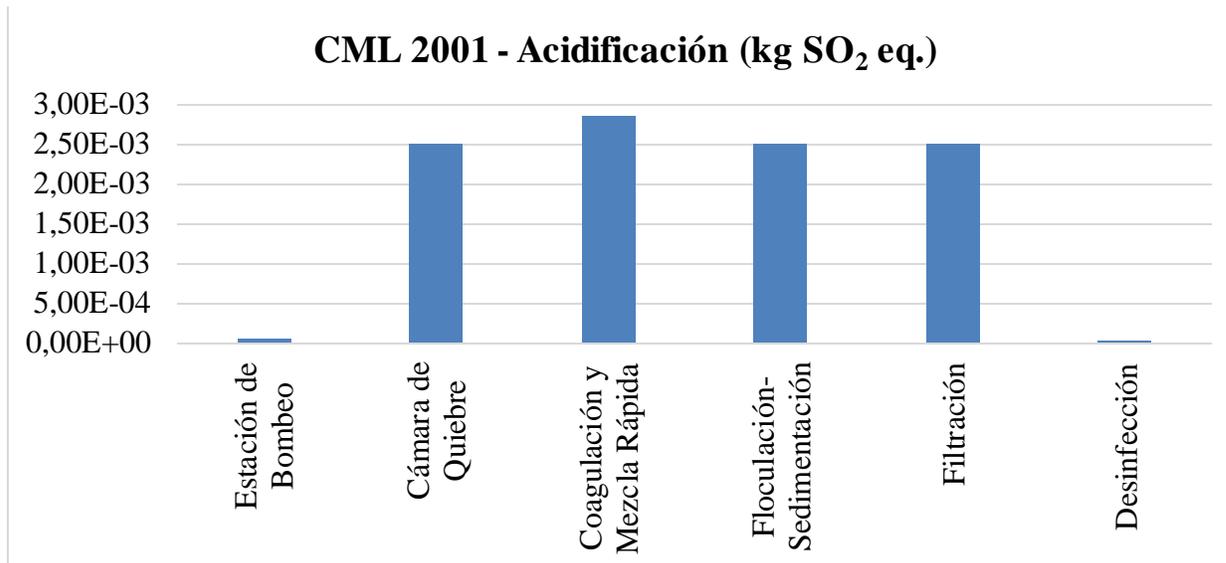
| Indicador | Proceso | Insumo o flujo | Valor por insumo | Global proceso | Global planta |
|---|-----------------------------|---------------------------|------------------|----------------|---------------|
| CML 2001 - Acidificación (kg SO ₂ eq.) | Estación Termotasajero | Electricidad | 4,92E-05 | 2,63E-05 | 1,04E-02 |
| | | Agua | 2,51E-03 | | |
| | Cámara de quiebre | Electricidad | 1,93E-07 | 2,51E-03 | |
| | | Agua | 2,51E-03 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Pac | 1,61E-04 | 2,86E-03 | |
| | | Stb | 1,83E-04 | | |
| | | Superfloc | 9,40E-07 | | |
| | | Polifloc | 6,20E-07 | | |
| | | Floquat fl-2565 | 1,69E-06 | | |
| | | Electricidad | 9,08E-07 | | |
| | | Floculación-sedimentación | Agua | | |
| | Electricidad | 7,87E-07 | | | |
| | Filtración | Agua | 2,51E-03 | 2,51E-03 | |

| | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| CML 2001 - Oxidación fotoquímica (kg etileno eq.) | Desinfección | Cloro gaseoso | 5,84E-06 | 6,50E-06 | 4,76E-04 |
| | | Electricidad | 6,54E-07 | | |
| | Estación Termotasajero | Electricidad | 2,88E-06 | 2,63E-05 | |
| | | Cámara de quiebre | Agua | 1,09E-04 | |
| | Electricidad | | 1,13E-08 | | |
| | Coagulación y mezcla rápida | Agua | 1,09E-04 | 1,23E-04 | |
| | | Pac | 6,64E-06 | | |
| | | Stb | 7,85E-06 | | |
| | | Superfloc | 3,57E-08 | | |
| | | Polifloc | 2,38E-08 | | |
| | | Floquat fl-2565 | 6,40E-08 | | |
| | | Electricidad | 5,31E-08 | | |
| | Floculación-sedimentación | Agua | 1,09E-04 | 1,09E-04 | |
| | | Electricidad | 4,61E-08 | | |
| | Filtración | Agua | 1,09E-04 | 1,09E-04 | |
| | Desinfección | Cloro gaseoso | 2,61E-07 | 2,99E-07 | |
| Electricidad | | 3,83E-08 | | | |

Fuente: Autor, 2019

Figura 16 Otros impactos ambientales PTAP Carmen de Tonchala año 2017





Fuente: Autor, 2019

Al igual que para el año anterior y en la PTAP El Pórtico, en la figura 15 se observa el mismo patrón de comportamiento en el cual la fase de mayor impacto es la coagulación y mezcla rápida con 2,86E-03 kg de SO₂ eq de acidificación y 1,23E-04 kg etileno eq de oxidación fotoquímica, siguiendo con la misma secuencia de contaminación las fases de floculación-sedimentación, filtración y cámara de quiebre con un valor de 2,51E-03 kg de SO₂ eq y 1,09E-04 kg etileno eq para los indicadores de acidificación y oxidación fotoquímica, y por último se encuentra la estación de bombeo y desinfección cuyos valores están muy por debajo de la media representando poca significancia en el impacto ambiental.

Comparación entre insumos usados durante los años 2016 y 2017

PTAP El Pórtico

A continuación, se presentan el consumo porcentual por insumos y flujos para la PTAP El Pórtico en la tabla 30 representado de manera esquemática en la figura 16.

Tabla 30 Comparación entre insumos y flujos PTAP El Pórtico año 2016 vs 2017

| INSUMO | AÑO | |
|--|----------|----------|
| | 2016 (%) | 2017 (%) |
| Agua | 94,99 | 96,30 |
| Electricidad | 0,33 | 0,27 |
| Hidroxiclорuro de Aluminio Líquido (PAC) | 0,47 | - |
| Sulfloc NR-13 | - | 1,56 |

| | | |
|-----------------------------------|------|------|
| AK-23 | 3,13 | 1,44 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 0,58 | 0,03 |
| SuperFloc C-576 | 0,12 | 0,02 |
| Polifloc Q-2000 | 0,02 | 0,02 |
| Floquat FL-2565 | - | 0,04 |
| Carbón Activado | 0,00 | 0,00 |
| Cloro Gaseoso | 0,36 | 0,33 |
| Total | 100 | 100 |

Fuente: Autor, 2019

Figura 17 Comparación entre insumos y flujos PTAP El Pórtico año 2016 VS 2017



Fuente: Autor, 2019

En la figura 16 se detalla el porcentaje de influencia que tiene cada insumo y/o flujo dentro del proceso de potabilización en la planta El Pórtico para el periodo de estudio desde el 1 de enero de 2016 al 31 de diciembre de 2017, en dicha representación gráfica se aprecia de manera clara y contundente que el elemento con mayor contribución es el agua empleada para el lavado de las unidades de desarenadores, floculación-sedimentación, coagulación y mezcla rápida y filtración, aportando al impacto ambiental en un 94,99% para el año 2016 y 96,3% para el año 2017; el coagulante AK-23 usado como aditivo en la etapa de coagulación y mezcla rápida es el segundo elemento que tiene una contribución significativa de contaminación en el proceso con un 3,13% para el año 2016, disminuyendo en el 2017 debido a la implementación de un nuevo coagulante llamado Sulfloc NR-13,

por lo tanto la cantidad empleada de AK-23 se redujo, distribuyendo el porcentaje en un 1,44% para el coagulante antiguo, y un 1,56% a el Sulfloc NR-13. Los demás insumos y flujos como electricidad, PAC, sulfato de aluminio tipo B, Superfloc C-576, Polifloc Q-2000, Floquat FL-2565, carbón activado y cloro gaseoso tienen un aporte de 1,88% para el año 2016 y 0,70% para el 2017.

PTAP Carmen de Tonchala

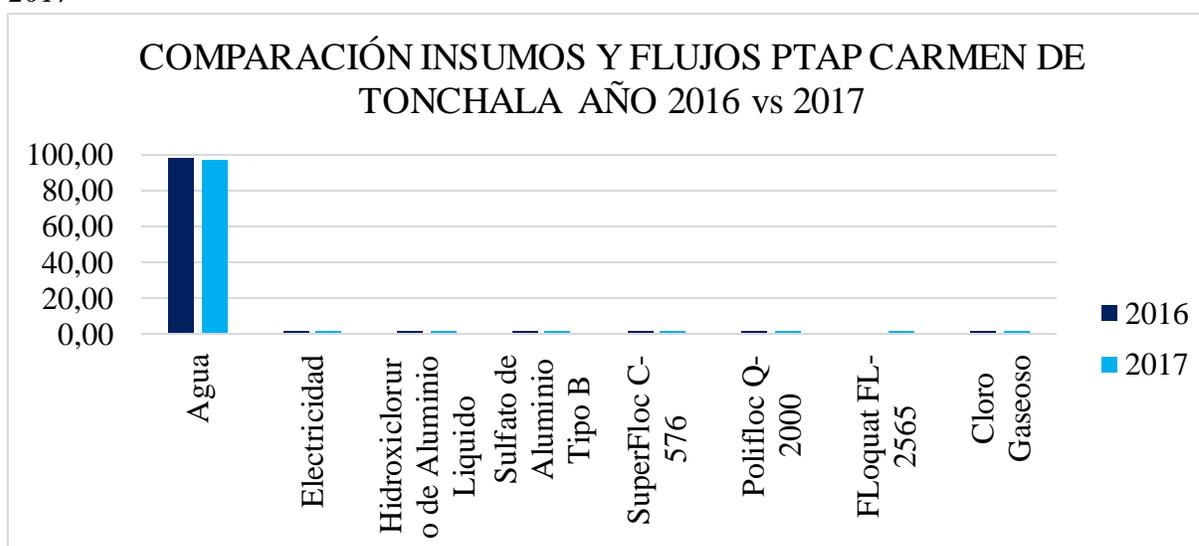
A continuación, se presentan el consumo porcentual por insumos y flujos para la PTAP El Pórtico en la tabla 31 representado de manera esquemática en la figura 17.

Tabla 31 Comparación entre insumos y flujos PTAP Carmen de Tonchala año 2016 vs 2017

| INSUMO | AÑO | |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| | 2016 (%) | 2017 (%) |
| Agua | 98,12 | 96,80 |
| Electricidad | 0,67 | 1,14 |
| Hidroxiclورو de Aluminio Liquido | 0,61 | 0,96 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 0,47 | 0,98 |
| SuperFloc C-576 | 0,03 | 0,01 |
| Polifloc Q-2000 | 0,00 | 0,01 |
| FLoquat FL-2565 | - | 0,02 |
| Cloro Gaseoso | 0,10 | 0,08 |
| Total | 100,00 | 100,00 |

Fuente: Autor, 2019

Figura 18 Comparación entre insumos y flujos PTAP Carmen de Tonchala año 2016 vs 2017



Fuente: Autor, 2019

En la figura 17 se visualiza la contribución de cada insumo y flujo generado en la PTAP de Carmen de Tonchala para los años 2016 y 2017; en dicha grafica se aprecia que el elemento con el mayor porcentaje de contribuciones es el flujo de agua con un 98,12% para el 2016 y 96,80% en el 2017. El gran impacto por parte de este elemento se debe a que es usado para el lavado y limpieza de las unidades de cámara de quiebre, coagulación y mezcla rápida, floculación-sedimentación y filtración, los demás insumos aportan un 1,88% para el año 2016 y 3,20% para el 2017, entre los cuales están la electricidad, Hidroxicloruro de aluminio líquido, sulfato de aluminio tipo B, Superfloc C-576, Polifloc Q-2000, Floquat FL-2565 y cloro gaseoso.

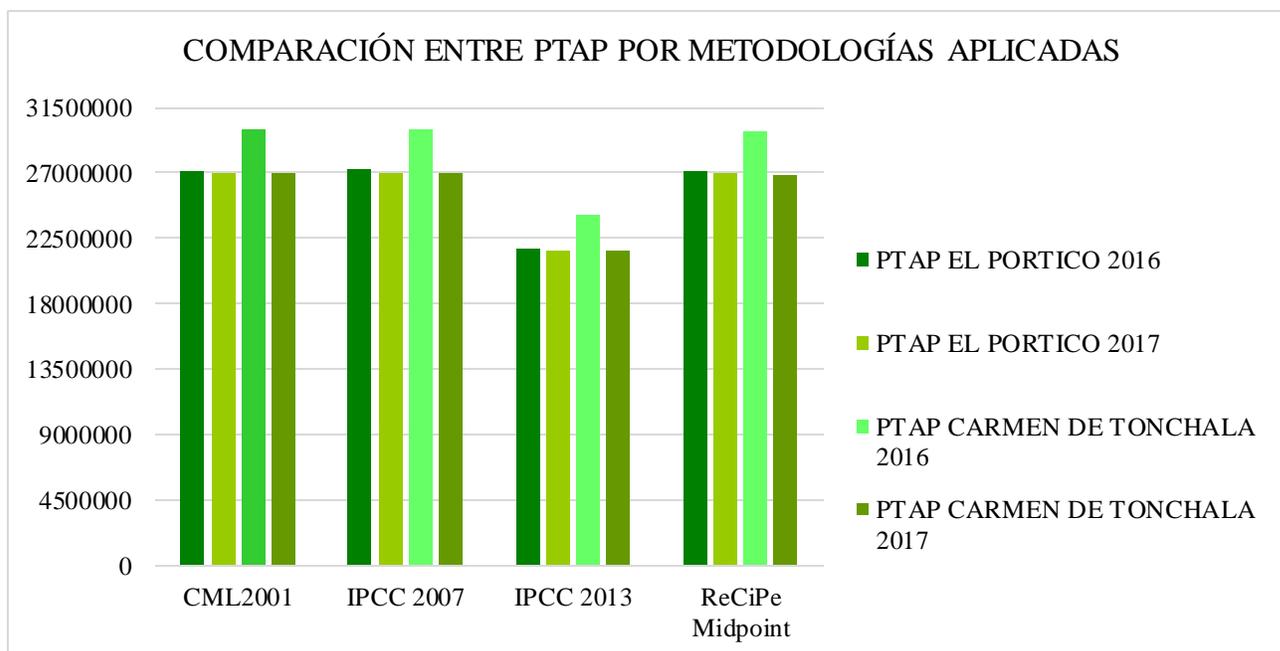
Comparación entre PTAP

Tabla 32 Resultados de impacto ambiental global por PTAP y año

| Planta | Año | Metodología | Impacto ambiental (kg CO ₂ eq/unidad funcional) | Unidad funcional | Unidades producidas de m ³ de agua | Total impacto (kg CO ₂ eq) |
|---------------------------|------|-----------------|--|------------------|---|---------------------------------------|
| EL PORTICO | 2016 | CML2001 | 0,521485941 | m3 | 52161108,6 | 27201284,8 |
| | | IPCC 2007 | 0,521491971 | m3 | | 27201599,3 |
| | | IPCC 2013 | 0,416693587 | m3 | | 21735199,5 |
| | | ReCiPe Midpoint | 0,520594846 | m3 | | 27154804,3 |
| | 2017 | CML2001 | 0,49570186 | m3 | 54549306 | 27040192,4 |
| | | IPCC 2007 | 0,495707708 | m3 | | 27040511,5 |
| | | IPCC 2013 | 0,397807528 | m3 | | 21700124,6 |
| | | ReCiPe Midpoint | 0,494868749 | m3 | | 26994746,8 |
| CARMEN DE TONCHALA | 2016 | CML2001 | 1,530741356 | m3 | 19560030,16 | 29941347,1 |
| | | IPCC 2007 | 1,530758942 | m3 | | 29941691,1 |
| | | IPCC 2013 | 1,229700482 | m3 | | 24052978,5 |
| | | ReCiPe Midpoint | 1,528060877 | m3 | | 29888916,8 |
| | 2017 | CML2001 | 1,470346501 | m3 | 18334140,35 | 26957539,1 |
| | | IPCC 2007 | 1,470363552 | m3 | | 26957851,7 |
| | | IPCC 2013 | 1,180300831 | m3 | | 21639801,1 |
| | | ReCiPe Midpoint | 1,467642028 | m3 | | 26907954,9 |

Fuente: Autor, 2019

Figura 19 Comparación entre PTAP por metodologías aplicadas



Fuente: Autor, 2019

Se hizo una comparación gráfica entre las PTAP el Pórtico y Carmen de Tonchala para los años de estudio (2016-2017), teniendo en cuenta las 4 metodologías usadas para cuantificar los kg de CO₂ e reflejándose los resultados globales del impacto global en la figure 18. En cada una de las metodologías aplicadas se observa que la planta de Carmen de Tonchala en el año 2016 es la que tiene el pináculo de contaminación con valores superiores a los 29 millones de kg de CO₂ eq/año en las metodologías IPCC 2007, CML 2001 y ReCiPe Midpoint y m, esto a causa de los grandes volúmenes de agua empleados en el lavado de las unidades más de 24 millones de kg de CO₂ eq/año; también se demarca que la metodología con los valores más bajos es la IPCC 2013, siendo inferior para las 2 plantas en los años de estudio. La planta el pórtico para los dos años en que se realizó el estudio, presento resultados muy similares y con pocas variaciones en su total global, dándose una similitud con la planta de Carmen de Tonchala en el año 2017, en las que se mantuvieron en un rango muy semejante.

De manera global, las metodologías IPCC 2007 y CML 2001 dieron resultandos en las que sus valores son minúsculamente diferentes en algunos insumos o flujos en las diferentes etapas; la metodología ReCiPe Midpoint es ligeramente inferior a las 2 anteriores, pero sigue estando dentro del rango de las mismas, dando una simetría en los resultados de estas tres metodologías ya nombradas.

Huella de Carbono

Limites Organizacionales

Los límites organizacionales se han establecido con base en el “enfoque de control”, por lo cual se incluyen en el proyecto solamente las operaciones sobre las cuales la empresa ejerce control directo dentro de sus actividades operacionales en los procesos de potabilización. El criterio utilizado ha sido el de “Control Operacional”, ya que la organización tiene autoridad plena para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación.

Limites Operacionales

Los límites operacionales se definen con el fin de diferenciar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan directamente en la organización, de aquellas indirectas que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que son generadas por otras organizaciones o empresas.

- **Alcance 1:** En el primer alcance se incluyen las emisiones directas de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. En tal sentido, se ha definido la siguiente:
 - ✓ Insumos y flujos
- **Alcance 2:** En el segundo alcance se incluyen las emisiones indirectas relacionadas con la electricidad que es consumida por la empresa.
 - ✓ Electricidad

Selección de año base

El año base seleccionado fue el 2016, dado que es el más completo en información respecto a los años anteriores y con la información más fehaciente y verídica que se pudo obtener.

Clasificación de alcances

Alcance 1: Emisiones directas

A continuación, se presentan en las tablas de la 33 a la 36 los datos de emisiones directas resultado del ACV en las plantas El Pórtico y Carmen de Tonchala para el periodo 2016-2017.

Tabla 33 Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP El Pórtico 2016

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Agua | 25805894,57 | 25806186,22 | 20742897,71 | 25763929,14 |
| Hidroxiclорuro de Aluminio Liquido | 131615,0575 | 131616,4429 | 89633,05567 | 131317,6395 |
| AK-23 | 879757,1981 | 879766,4585 | 599136,0519 | 877769,1607 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 164864,2827 | 164867,7117 | 103249,1736 | 164561,0342 |
| SuperFloc C-576 | 32873,63977 | 32874,25739 | 29726,12743 | 32825,90246 |
| Polifloc | 4588,579013 | 4588,718843 | 3657,137323 | 4581,6735 |
| Carbón Activado | 0,472115984 | 0,472131833 | 0,405414833 | 0,466308651 |
| Cloro Gaseoso | 96182,27086 | 96188,12061 | 83471,81673 | 96044,47136 |
| TOTAL | 27115776,07 | 27116088,4 | 21651771,48 | 27071029,49 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 34 Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP El Pórtico 2017

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|-----------------------------------|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Agua | 26031510,33 | 26031804,52 | 20924248,71 | 25989178,01 |
| Sulfloc NR-13 | 423182,2365 | 423195,1323 | 337279,9176 | 422545,3747 |
| AK-23 | 401212,3296 | 401216,5528 | 273235,3559 | 400305,6873 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 9021,253054 | 9021,440689 | 5649,719321 | 9004,65952 |
| SuperFloc C-576 | 4409,465094 | 4409,547938 | 3987,277411 | 4403,061908 |
| Polifloc Q-2000 | 5124,227405 | 5124,383558 | 4084,053743 | 5116,515776 |
| Floquat FL-2565 | 9956,418418 | 9956,605475 | 9003,133351 | 9941,960247 |
| Carbón Activado | 0,229673787 | 0,229681498 | 0,197225181 | 0,226848651 |
| Cloro Gaseoso | 86713,91292 | 86719,18681 | 75254,69905 | 86589,67866 |
| TOTAL | 26971130,4 | 26971447,6 | 21632743,06 | 26927085,17 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 35 Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP Carmen de Tonchala 2016

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Agua | 29372736,83 | 29373068,79 | 23609942,06 | 29324971,02 |
| Hidroxloruro de Aluminio Líquido | 190221,7191 | 190223,7214 | 129545,6178 | 189791,8643 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 148693,7831 | 148696,8758 | 93122,11219 | 148420,2783 |
| SuperFloc C-576 | 8156,505723 | 8156,658964 | 7375,554705 | 8144,661288 |
| Polifloc Q-2000 | 665,099178 | 665,1194459 | 530,089821 | 664,0982469 |
| Cloro Gaseoso | 28154,18426 | 28155,89658 | 24433,61846 | 28113,848 |
| TOTAL | 29748628,12 | 29748967,06 | 23864949,05 | 29700105,77 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 36 Emisiones directas (Insumos y Flujos) PTAP Carmen de Tonchala 2017

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Agua | 26086428,74 | 26086723,56 | 20968392,38 | 26044007,11 |
| Hidroxloruro de Aluminio Líquido | 267742,7994 | 267745,6177 | 182339,3592 | 267137,7657 |
| Sulfato de Aluminio Tipo B | 276024,9235 | 276030,6646 | 172865,4915 | 275517,2081 |
| SuperFloc C-576 | 2966,033362 | 2966,089087 | 2682,048179 | 2961,72625 |
| Polifloc Q-2000 | 1551,899204 | 1551,946495 | 1236,877143 | 1549,563696 |
| FLoquat FL-2565 | 5326,323863 | 5326,423932 | 4816,35082 | 5318,589264 |
| Cloro Gaseoso | 21369,47657 | 21370,77625 | 18545,50757 | 21338,86071 |
| TOTAL | 26661410,19 | 26661715,08 | 21350878,01 | 26617830,82 |

Fuente: Autor, 2019

Alcance 2: Emisiones indirectas

En las emisiones indirectas solo se encuentra la electricidad consumida por la empresa, estos resultados están expresados en las tablas 37 hasta la 40, analizadas por 4 metodologías de evaluación de impactos.

Tabla 37 Emisiones indirectas (Energía) PTAP El Pórtico 2016

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---------------------|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Electricidad | 85508,70804 | 85510,94157 | 83427,98438 | 83774,78661 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 38 Emisiones indirectas (Energía) PTAP El Pórtico 2017

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---------------------|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Electricidad | 69062,04728 | 69063,85122 | 67381,52797 | 67661,6266 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 39 Emisiones indirectas (Energía) PTAP Carmen de Tonchala 2016

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|---------------------|---|--|--|--|
| | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
| Electricidad | 192718,9751 | 192724,009 | 188029,4535 | 188811,0742 |

Fuente: Autor, 2019

Tabla 40 Emisiones indirectas (Energía) PTAP Carmen de Tonchala 2017

| Insumos y flujos | Metodología | | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | CML 2001 - Calentamiento | IPCC 2007 - Calentamiento | IPCC 2013 - Calentamiento | ReCiPe Midpoint (H) - |

| | global (kg CO ₂ eq.) | global (kg CO ₂ eq.) | global (kg CO ₂ eq.) | Climate change (kg CO ₂ eq.) |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Electricidad | 296128,9185 | 296136,6535 | 288923,0741 | 290124,0999 |

Fuente: Autor, 2019

Consolidado de alcances

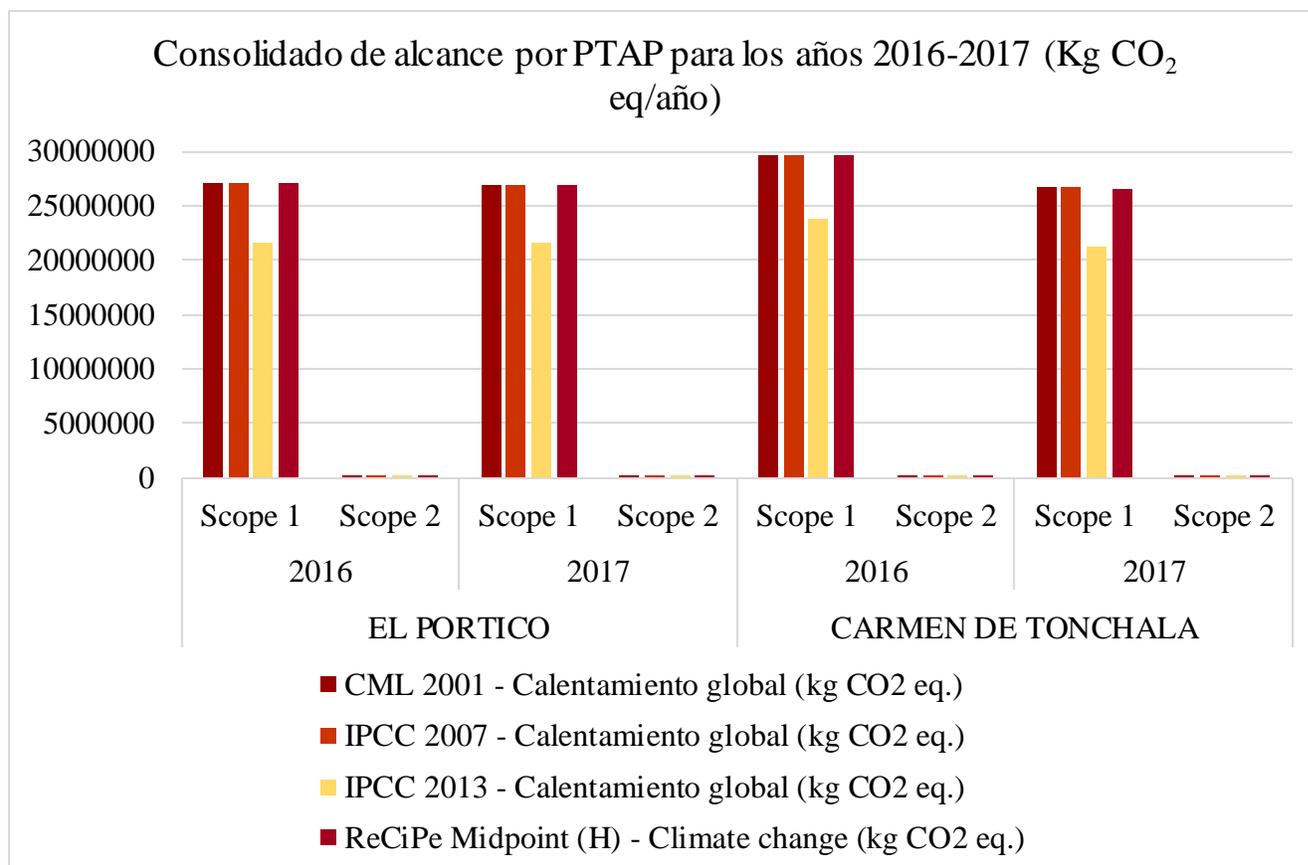
Tabla 41 Alcances por PTAP

| PTAP | Año | Alcance | CML 2001 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2007 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | IPCC 2013 - Calentamiento global (kg CO ₂ eq.) | ReCiPe Midpoint (H) - Climate change (kg CO ₂ eq.) |
|-----------------------------------|------|---------|---|--|--|--|
| El Pórtico | 2016 | Scope 1 | 27115776,07 | 27116088,4 | 21651771,48 | 27071029,49 |
| | | Scope 2 | 85508,70804 | 85510,94157 | 83427,98438 | 83774,78661 |
| | 2017 | Scope 1 | 26971130,4 | 26971447,6 | 21632743,06 | 26927085,17 |
| | | Scope 2 | 69062,04728 | 69063,85122 | 67381,52797 | 67661,6266 |
| Carmen de Tonchala | 2016 | Scope 1 | 29748628,12 | 29748967,06 | 23864949,05 | 29700105,77 |
| | | Scope 2 | 192718,9751 | 192724,009 | 188029,4535 | 188811,0742 |
| | 2017 | Scope 1 | 26661410,19 | 26661715,08 | 21350878,01 | 26617830,82 |
| | | Scope 2 | 296128,9185 | 296136,6535 | 288923,0741 | 290124,0999 |

Fuente: Autor, 2019

Como se observa en la figura 19, el impacto ambiental se genera a partir del Alcance 1 donde se encuentra los insumos y flujos empleados en el proceso de potabilización; gran parte de este impacto se debe al uso de agua potable para la limpieza y lavado de las unidades; el Alcance 2 solo se encuentra el flujo de energía eléctrica que la empresa consume para el funcionamiento de las maquinas (bombas, motores eléctricos, dosificadores, entre otros) que facilitan los procesos en la PTAP, siendo este alcance el de menor relevancia debido al escaso impacto que genera en relación al primer Scope.

Figura 20 Alcance por PTAP



Fuente: Autor, 2019

Estrategias de compensación y mitigación

Una vez obtenidos los resultados de la cuantificación de la huella de carbono, el siguiente paso a dar de manera esencial, es encontrar alternativas que ayuden a compensar o mitigar los impactos generados en los procesos y/o actividades que se producen en el caso de estudio; en esta ocasión en particular el proceso de potabilización que se realiza en las PTAP El Pórtico y Carmen de Tonchala.

De acuerdo a lo anterior, cabe resaltar que las empresas tienen la posibilidad de compensar las emisiones que generan con proyectos que promuevan la reducción de emisiones; aunque como tal la compensación no reduce la huella de carbono si denota el compromiso individual que tiene la empresa con el impacto a la sociedad y medio ambiente buscando contribuir al compromiso global de lucha contra el cambio climático. (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente., 2015)

A continuación se describen las alternativas para los elementos de mayor impacto:

Reducción en consumo y sustitución de insumos

Esta alternativa consiste de manera general en reducir la cantidad de insumos o flujos empleados por medio de la optimización de los procesos o el cambio del producto químico usado por otro más amigable con el medioambiente. Esta estrategia tiene varias limitaciones, la principal es la dependencia a la calidad de los insumos y las tecnologías que estén disponibles en el mercado local; al igual que la eficiencia en los procesos, el precio de los insumos y las tecnologías que se apliquen al proceso.

Existen elementos que por el bajo grado de industrialización el impacto en términos de calentamiento global es relativamente bajo en comparación a otros, pero la eficiencia y la calidad de los mismos hace que no sean muy usados. Además, puede ocasionar otros impactos ambientales adverso como contaminación a fuentes hídricas y suelos.

Del análisis para la PTAP El Pórtico, se obtuvo que los coagulantes AK-23 y Sulfloc NR-13 y en la PTAP de Carmen de Tonchala los aditivos dosificados con mayor impacto son el Hidroxicloruro de Aluminio Líquido (PAC) y el Sulfato de Aluminio tipo B (STB) para los dos años de estudio; estos insumos son usados con el fin de sedimentar partículas finas presentes en el agua cruda, son los dos elementos con un aporte considerable en comparación a los otros insumos. A raíz de esto, se pueden plantear alternativas de reducción de la cantidad aplicada por medio de la implementación de un pre-tratamiento que ayude a mejorar las condiciones fisicoquímicas del agua cruda que ingresa a la planta, y así reducir la cantidad de coagulante consumida en el proceso.

Aunque el Sulfloc NR-13, fue implementado para el año 2017 disminuyendo el consumo de AK-23 y la generación de lodos, reduciendo así mismo el impacto generado por este para el año 2017 en comparación al año 2016, y en la planta de Carmen de Tonchala para ese mismo año se añadió el coayudante Floquat FL -2565, ayudando a mejorar la formación de flocs en turbiedades que superaron los parámetros con los que se opera regularmente.

Otro método de lograr una disminución en la dosificación de estos coagulantes y de otros insumos como coayudantes (PAC, Superfloc C-576, Polifloc Q-2000, Sulfato de Aluminio tipo B) se puede realizar por medio de la elaboración de una Guía de Dosis óptima para estos aditivos, mejorando así la respuesta de los operarios de la PTAP y reduciendo el gasto de estos químicos disminuyendo costos a la empresa. Para esto se hace uso de la prueba de jarras, buscando la dosis que mejor respuesta presente de acuerdo a las características fisicoquímicas que presente el fluido, probando con diferentes turbiedades para tener un documento donde se presenta la mayor gamma de oportunidades posibles antes los múltiples escenarios que puedan presentarse.

Tratamiento de lodos

Esta estrategia consiste en la implementación de unidades que permitan extraer la materia sólida para obtener efluentes sin lodos que puedan ser vertidos al cauce o que reingresen al sistema hídrico. Es a causa de estos lodos, que el mayor impacto se presenta en el agua usada en el lavado de las unidades donde se produce sedimentación, coagulación, floculación y filtración.

Existen diferentes tipos de tratamientos de lodos, que se muestran a continuación:

- **Espesamiento:** Se puede dar por gravedad o flotación, en la primera se realiza por medio de decantadores estáticos circulares o rectangulares provistos de rasquetas que arrastran el lodo a bandas de recolección, el agua decantada se extrae por medio de vertederos situados en la parte superior. El espesamiento por flotación aprovecha la flotabilidad de los floculos cuando se les adhieren burbujas de aire, para esto se presuriza de manera directa la mezcla de lodos con aire a presión de 6 bares y se descomprime a la entrada del flotador. (Ramírez Quirós)
- **Filtros banda:** Se basan en una banda continua de tela filtrante que pasa a través de unos rodillos giratorios. El lodo acondicionado con un ayudante de floculación, es vertido de forma continua sobre la banda. Posteriormente, es comprimido y una placa separa el lodo deshidratado de la banda. Con este filtro se obtienen concentraciones de materia seca de alrededor un 20%. (Ramírez Quirós)
- **Filtros prensa:** El lodo previamente acondicionado, generalmente con cal, es introducido en las cámaras que forman cada dos placas contiguas, sometiéndolo a una presión que está en el rango de 300 kg/ cm² por medio de un dispositivo hidráulico. Tiene un funcionamiento discontinuo y laborioso del cual se obtiene un lodo bastante seco con alrededor de un 30% de materia seca. (Ramírez Quirós)
- **Lechos de secado:** Se utilizan, normalmente, para la deshidratación de lodos digeridos. Una vez seco, el lodo es retirado y se evacúa a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos. Las principales ventajas son su bajo costo, el escaso mantenimiento que precisan, y el elevado contenido en sólidos del producto final. (Lechos de Secado, s.f.)

Compensación con sumideros de CO₂

Un sumidero es “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero” según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992. Los océanos y ecosistemas terrestres son los responsables de alrededor el 50% de gases de efecto invernadero y CO₂ absorbidos anualmente.

Los bosques, contribuyen a la mitigación del cambio Climático almacenando carbono en la vegetación y el suelo, por medio de la respiración de las plantas y de la actividad microbiana intercambian constantemente con la atmósfera, aunque se convierten en fuentes de emisión de carbono cuando son turbados. Los árboles absorben el CO₂ dejando solo la molécula de carbono para usarlo en forma de carbohidratos para sus procesos metabólicos de crecimiento, adhiriéndose a las ramas, raíces y madera del tronco. Esta captura de carbono, es únicamente mientras el árbol esta en desarrollo hasta alcanzar su madurez, una vez el árbol muere emite la misma cantidad de carbono capturada.

La capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono depende de muchos factores, entre los que se encuentran las características propias de la vegetación, del clima y del tipo de suelo en el que se encuentra, así como de las particularidades de la gestión aplicada. (FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS, 2011)

El Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (MMA,2000) en un estudio llamado “Estudio de Estrategia Nacional para la implementación del MDL en Colombia” presento el potencial de fijación de CO₂ en el sistema forestal de Colombia. Por este motivo, se han venido realizando varios estudios en los cuales se estima ese potencial de fijación de CO₂ para situaciones específicas.

La adquisición de áreas estratégicas por parte de Aguas Kpital Cúcuta es una pieza clave para poder llevar a cabo este proceso. Esto permitirá la creación de sumideros de carbono que ayuden a compensar y retener la cantidad de CO₂ emitido por los procesos de la empresa, al igual que la conservación de las fuentes hídricas como el río Pamplonita y el Zulia, de los cuales tiene captaciones que permiten llevar a cabo los procesos de potabilización que surten a la población Cucuteña. Para esto es necesario, hacer un estudio que permita determinar las posibles zonas que pueden ser adquiridas por parte de la empresa, al igual que las especies forestales con mayor captación de carbono que sean nativas de la región para que su crecimiento sea de forma natural; evitando así, sobrecostos por la adaptación de especies de otras regiones.

Conclusiones

- La Huella de Carbono perfila como un indicador capaz de sintetizar los impactos provocados por las actividades del hombre en el entorno, medido en términos de emisiones de GEI. Por lo tanto, la Huella de Carbono representa una poderosa herramienta de gestión y un estímulo para adoptar una estrategia para el logro de la sustentabilidad de las organizaciones. Cabe aclarar que, la diversidad de metodologías propuestas por diferentes entidades internacionales aún no da como resultado un método aceptable y general para determinar la huella de carbono de productos, servicios, viviendas y empresas.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación se lograron desarrollar por medio de bases de datos internacionales lo que genera un nivel de incertidumbre en los datos cuantificados, esto se debe a la inexistencia de database regionalizadas que se adecuen al lugar donde se está realizando el estudio. Aunque lo más idóneo es llevar a cabo la medición con bases de datos nacionales, se debe tener en cuenta que las database suministradas son realizadas por entidades con gran recorrido en el tema como lo es Ecoinvent. Es importante señalar que la cuantificación de la huella de carbono se debe considerar como una herramienta para medir el cumplimiento ambiental interno a lo largo del tiempo, por lo que el nivel de incertidumbre deja de ser tan relevante si las posteriores mediciones se realicen de manera similar.
- En el proceso de potabilización la cantidad de Carbono (“C”) generados a la ciudad de Cúcuta, calculados a través de los indicadores de calentamiento global por las metodologías CML 2001, IPCC 2007, IPCC 2013 y ReCiPe Midpoint muestran que durante el 2017 se emitieron 27’040.192,45 kg CO₂ eq, 27’040.511,45 kg CO₂ eq, 21’700.124,59 kg CO₂ eq y 26’994.746,8 kg CO₂ eq respectivamente para cada metodología en la PTAP El Pórtico. En la planta de Carmen de Tonchala las emisiones de Carbono (“C”) fueron de 26’957.539,11 kg CO₂ eq, 26’957.851,73 kg CO₂ eq, 21’639.801,08 kg CO₂ eq y 26’907.954,92 kg CO₂ eq para cada

metodología nombrada anteriormente; siendo el elemento “Agua” el responsable de más del 90% de las emisiones para las 2 plantas.

- El flujo con mayor carga contaminante es el agua, a causa de que es usada para el lavado y limpieza de desarenadores, coagulación y mezcla rápida, floculación-sedimentación y filtración; esto genera que dicho fluido se mezcle con partículas finas y lodos, cambiando sus características fisicoquímicas (turbiedad, color, olor, sabor y pH). A fin de mitigar esto, se hace necesario la implementación de estrategias como “Tratamiento de lodos” que permitan clarificar el agua de este compuesto.
- En las plantas de tratamiento de agua potable El Pórtico y Carmen de Tonchala se evidencia que el proceso de mayor contribución a la huella de carbono es la “Coagulación y Mezcla rápida”, debido al consumo de aditivos como coagulantes y coayudantes que permiten acelerar el proceso de sedimentación de partículas finas y formación de flocs; además del uso de agua para el lavado de esta unidad a causa de la formación de lodos generadas en el proceso.

Recomendaciones

A continuación, se detallarán las recomendaciones principales resultado de la investigación:

- Llevar a cabo un nuevo cálculo de la huella de carbono para las PTAP El Pórtico y Carmen de Tonchala para el año 2019 de modo que se evalúe la precisión de las acciones implementadas.
- Ampliar el alcance de la medición de la huella de carbono, con la finalidad de incluir todas las actividades realizadas por la empresa tanto de su parte administrativa, como las etapas que anteceden y prosiguen al proceso de potabilización.
- Para estudios futuros buscar ajustar las proyecciones de las sustancias en la base de datos para la realización del ACV a fin de obtener una mayor precisión en los resultados.
- A través de este proyecto la empresa potencialice el conocimiento y experiencia en esta temática, con el propósito de convertirse en un referente a nivel regional, departamental y nacional en la gestión de una de las principales amenazas que actualmente se enfrenta el desarrollo urbano.
- Aguas Kpital Cúcuta S.A ESP debe implementar de manera efectiva las estrategias de mitigación y compensación para resarcir las emisiones de CO₂ eq, como reducir el consumo de aditivos, la compensación con sumideros de carbono y de manera prioritaria la implementación de unidades de tratamiento de lodos.

Bibliografía

- Araque L, R. A. (2015). *Valoración del impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del análisis del ciclo de vida caso de estudio Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Universidad de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.*
- Artículo: *El concepto de huella ecológica - Portal de Medio Ambiente. (2018).* Obtenido de <http://movil.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.1340904a2df84e62fe47421ca6108a0c/?vgnnextoid=dfed676ea061310VgnVCM10000098030a0aRCRD&i18n.http.lang=es>
- *Bosques PROcarbono - Economía del Carbono. (2018).* Obtenido de https://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html
- Carbon Trust . (2007). "Carbon footprints in the supply chain: the next step for business". Report Number CTC616, November 2006, The Carbon Trust, London, UK. Londres.
- Centro de Gestión Ambiental ¿Que es la huella ecológica? - Universidad Tecnológica de Pereira (2011). Obtenido de <https://www.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/informacion-de-interes/que-es-la-huella-ecologica>
- Corporación Ambiental Empresarial (CAEM) & Fundación Natura Colombia (2014). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa*
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2011). *Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. República Francesa: CEPAL.*
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2018). *Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos,*

- *FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS. (2011). LOS SUMIDEROS DE CARBONO A NIVEL LOCAL. ESPAÑA: RED ESPAÑOLA DE CIUDADES POR EL CLIMA.*
- *Gases Efecto Invernadero | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigacion/gases-efecto-invernadero>*
- *García, J., Herrera, I., & Rodríguez, A. (2011). Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. México.*
- *González, R. (17 de 11 de 2014). ¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA? Obtenido de Twenergy: <https://twenergy.com/a/que-es-la-contaminacion-atmosferica-1523>*
- *GHG PROTOCOL. (2003). Corporate Accounting and Reporting Standard, World Business Council for Sustainable.*
- *IDEAM, & Ministerio del Medio Ambiente. (1999). Inventario Nacional de Fuentes de sumideros de Gases de Efecto Invernadero. República de Colombia*
- *Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2008). Cambio Climático 2007 Informe De Síntesis. Informe de síntesis, IPCC (OMM,PNUMA).*
- *Jurado Bolaños, C., & Lizcano Sandoval, Y. (2015). Determinación de la Huella De Carbono en el Aeropuerto Internacional El Dorado a la luz del Protocolo Greenhouse Gas (GHG) (Especialización en Gerencia Ambiental). Universidad Libre.*
- *Lechos de Secado. (s.f.). Obtenido de AguaMarket: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1137>*
- *Leiva, E. H. (2016). Análisis Ciclo de Vida. Escuela de organización industrial.*

- *M. d. (2015). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización . Madrid: Oficina Española de cambioClimatico.*
- *Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. In Información Tecnológica (2nd ed.). España.*
- *Ministerio de Ambiente, V. y. (13 de Diciembre de 2004). Resolución 1433. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15603>.*
- *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Contaminación Atmosférica. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica>*
- *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040. (2007). Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Segunda actualización. Bogotá D.C, Colombia.*
- *Oficina Española de cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*
- *Potencial de calentamiento global. - Portal de Medio Ambiente. (2016). Gobierno del Principado de Asturias.*
- *Ramírez Quirós , F. (s.f.). Lodos producidos en el tratamiento del agua potable.*
- *Secretaria Distrital de Ambiente (2015). Guía para el cálculo y reporte de Huella de Carbono Corporativa.*
- *Simple. (2010). Obtenido de Simple Efficiente Solutions: https://www.simple.com/wp-content/uploads/2013/12/Manual_LCAm.pdf*

- *Torrado, R. J. (2018). Evaluación del dióxido de carbono aplicando la Metodología análisis de ciclo de vida (ACV) en el Relleno Sanitario Regional la Cortada, Pamplona. Pamplona.*
- *WRI, & WBCSD. (2005). Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.*
- *WWF. (2006). Informe Planeta Vivo. Suiza: Worl Wild Fund*