

**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.**

**ING. ESP. RAFAEL ALEXANDER ARAQUE LEAL.**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTUTA.**

**PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Pamplona, Colombia**

**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.**

**ING. ESP. RAFAEL ALEXANDER ARAQUE LEAL.**

**Tesis de investigación para optar por el título de  
MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Director:** Oscar Orlando Ortiz Rodríguez, Ph.D., Profesor Titular, Programa de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.

**Co-director:** Jacipt Alexander Ramón Valencia, Ph.D. Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTUTA.**

**PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Pamplona, Colombia**

**2015**

## MIEMBROS DEL JURADO

### **Luiz A. Kulay, Ph.D**

Departamento de Ingeniería Química  
Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo  
Brasil  
Email: [luiz.kulay@usp.br](mailto:luiz.kulay@usp.br)

### **Jarol Ramón Valencia, Ph.D**

Facultad de Ingenierías & Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Ambiental  
Universidad de Pamplona  
Colombia  
Email: [jarolramonvalencia@gmail.com](mailto:jarolramonvalencia@gmail.com)

### **Saury Thomas Manzano, MSc**

Departamento de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial  
Universidad de Pamplona  
Colombia  
Email: [saurythomas@unipamplona.edu.co](mailto:saurythomas@unipamplona.edu.co)

**CARTA FIRMADA POR MARIO EMPOPAMPLONA**

## DEDICATORIA.

A DIOS, Mi Señor, Quien todo lo hace posible.

A MI FAMILIA, Mis padres, mi esposa y en especial a mis hijos, para quienes debo preservar un mejor planeta.

## **AGRADECIMIENTOS**

El Autor expresa sus agradecimientos a:

Oscar Orlando Ortiz Rodríguez, Ph.D., Jacipt Alexander Ramón Valencia, Ph.D. Ing. Daimer Gutiérrez, por sus grandes aportes a l desarrollo de esta investigación.

Dr. Mario Contreras, Gerente de Empopamplona S.A E.S.P. y al personal de la Empresa.

Esta tesis de maestría ha sido apoyada a través del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS, Convocatoria 569.

## TABLA DE CONTENIDO.

	Pg.	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	16
<b>2</b>	<b>JUSTIFICACION</b>	19
<b>3</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	21
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b>	22
<b>5</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	23
5.1	FASES DEL ANÁLISIS E CICLO DE VIDA	23
5.1.1	Objetivos y Alcance	23
5.1.2	Análisis del Inventario	27
5.1.2.1	Fuentes primarias de información	27
5.1.2.2	Fuentes secundarias de información.	28
5.1.3	Evaluación del Impacto.	32
5.1.4	Interpretación del análisis del ciclo de Vida.	34
<b>6.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS</b>	36
6.1	SERVICIO DE ACUEDUCTO	36
6.1.1	Diagnóstico del sistema de acueducto	36
6.1.1.1	Fuente abastecedora	38
6.1.1.2	Captación	38
6.1.1.3	Desarenador	40
6.1.1.4	Línea de aducción y Conducción	41
6.1.1.5	Plantas de tratamiento	42
6.1.1.6	Almacenamiento	49
6.1.1.7	Red de Distribución	52
6.2	SERVICIO DE ALCANTARILLADO	55
6.2.1	Diagnóstico del servicio de alcantarillado	55
6.2.1.1	Red de recolección y transporte de aguas residuales.	56
6.2.2	Calidad de las aguas residuales en Pamplona	58
6.3	SERVICIO DE ASEO	58
6.3.1	Diagnóstico del servicio de aseo en Pamplona.	59
6.3.1.1	Recolección y Transporte	59
6.3.1.2	Barrido de calles y áreas públicas.	51
6.3.1.3	Mantenimiento de parques y Áreas verdes.	63
6.3.1.4	Aprovechamiento de Residuos sólidos urbanos.	63
6.3.1.5	Disposición Final.	63
<b>7.</b>	<b>MARCO LEGAL</b>	66
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUCION</b>	69
8.1	Resultados del Impacto Ambiental (I.A.)	69

8.1.1	Resultados del Impacto Ambiental en el Servicio de Acueducto	69
8.1.2	Resultados del Impacto Ambiental en el Servicio de Alcantarillado	72
8.1.3	Resultados del Impacto Ambiental en el Servicio de Aseo	74
8.1.4	Comparación entre servicios de los resultados de I.A.	78
8.1.5	Emisión de GEI en el relleno sanitario	80
8.1.6	Comparación entre servicios de los resultados de I.A. incluyendo el relleno sanitario.	85
8.1.6.1	Comparación resultados globales por servicios y relleno sanitario	85
8.1.6.2	Comparación final por insumos y flujos	85
<b>9.</b>	<b>TOMA DE DECISIONES PARA MINIMIZAR IMPACTOS AMBIENTALES</b>	<b>89</b>
9.1	REDUCCIÓN EN CONSUMO Y SUSTITUCIÓN DE INSUMOS.	89
9.1.1	En el Servicio de Acueducto	89
9.1.2	En el Servicio de Alcantarillado	90
9.1.3	En el Servicio de Aseo	90
9.1.4	En el Relleno sanitario	92
9.2	COMPENSACIÓN CON SUMIDEROS DE CO <sub>2</sub>	92
9.3	APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS	100
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>107</b>
<b>11</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>108</b>
<b>12</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>109</b>
<b>13</b>	<b>ANEXOS.</b>	<b>113</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pg.
Tabla 1	Inventario de fuentes primarias y secundarias Acueducto 29
Tabla 2	Inventario de fuentes primarias y secundarias Alcantarillado 30
Tabla 3	Inventario de fuentes primarias y secundarias Aseo 31
Tabla 4	Identificación de componentes del servicio de acueducto 37
Tabla 5	Diagnóstico de la fuente 38
Tabla 6	Diagnóstico del Captación 39
Tabla 7	Diagnóstico Desarenador 41
Tabla 8	Diagnóstico Aducción Y conducción 42
Tabla 9	Diagnóstico Plantas de potabilización 43
Tabla 10	Producción de agua potable en 2014 48
Tabla 11	Diagnóstico tanques de almacenamiento 50
Tabla 12	Diagnóstico red de distribución 53
Tabla 13	Diagnóstico Servicio de alcantarillado 55
Tabla 14	Diagnóstico redes de recolección y transporte de aguas residuales. 56
Tabla 15	Resultados de caracterización de vertimientos Pamplona 58
Tabla 16	Diagnóstico del Servicio de Aseo 59
Tabla 17	Disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario La Cortada 64
Tabla 18	Resultados de impacto ambiental Acueducto 69
Tabla 19	Resultados de impacto ambiental Alcantarillado 72
Tabla 20	Resultados de impacto ambiental Aseo 75
Tabla 21	Resultados de Impacto ambiental total por servicio 79
Tabla 22	Análisis fisicoquímico de los residuos sólidos de Pamplona 81
Tabla 23	Balance de la formula química de residuos 81
Tabla 24	Calculo de la tasa de generación de gases 82
Tabla 25	Generación de CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> en La Cortada 83
Tabla 26	Generación total de gases en términos de CO <sub>2</sub> 84
Tabla 27	Resultados finales de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por servicio y relleno sanitario 85
Tabla 28	Insumos y flujos con mayor impacto GWP 87
Tabla 29	Crecimiento de Volumen con corteza (VCC) y fijación de CO <sub>2</sub> anuales de las principales especies de bosques Españoles 95
Tabla 30	Depósitos superficiales de Carbono en bosques tropicales 96
Tabla 31	Carbono superficial en foresteria y agroforesteria en Centroamérica 96
Tabla 32	Incremento corriente anual y captura potencial de carbono en plantaciones de Eucalyptus, Perú 97
Tabla 33	Carbono y emisiones evitadas en bosques de la RNSA 98
Tabla 34	Proyección de emisiones de metano en rellenos sanitario municipales 100
Tabla 35	Proyectos MDL en rellenos sanitario de Colombia 104

## LISTA DE GRÁFICAS.

		Pg.
Grafica 1	Resultados de Impacto ambiental I.A. Acueducto	70
Grafica 2	Resultados de I.A. por insumo Acueducto	71
Grafica 3	Resultados de Impacto ambiental I.A. Alcantarillado	73
Grafica 4	Resultados de Impacto ambiental I.A. Aseo	76
Grafica 5	Comparación resultados I.A. por proceso Aseo	77
Grafica 6	Resultados de I.A. por insumo Aseo	78
Grafica 7	Comparación de resultados de I.A. por servicio	79
Grafica 8	Estimación de gases de E.I. emitidos en el relleno sanitario la Cortada	84
Grafica 9	Comparación final de I.A. por servicios y relleno sanitario	85
Grafica 10	Comparación final por insumos y flujos.	87

## LISTA DE FIGURAS

		Pg.
Figura 1	Representación del servicio de acueducto	24
Figura 2	Representación del servicio de alcantarillado	25
Figura 3	Representación del servicio de aseo	26
Figura 4	Tratamiento numérico de la información	35
Figura 5	Sistema de captación acueducto	40
Figura 6	Plantas de potabilización de Pamplona	42
Figura 7	Producción de agua potable en Pamplona 2014	49
Figura 8	Plano catastro de redes de acueducto Pamplona	54
Figura 9	Plano catastro de redes de alcantarillado Pamplona	57
Figura 10	Rutas de recolección de RSU Pamplona	61
Figura 11	Rutas de barrido Pamplona	62
Figura 12	Localización del relleno sanitario La Cortada -Pamplona	80
Figura 13	Tasa anual de Generación de gases en la Cortada	83
Figura 14	Imágenes de las áreas Estratégicas de Pamplona.	99
Figura 15	Captación y aprovechamiento de Metano.	102

## LISTA DE ANEXOS

	Pg.
Anexo 1. Tablas de normalización de datos	113
Anexo 2. Componentes analizados en el indicador de calentamiento global, proporcionados por Ecoinvent 2.2	122

## GLOSARIO

**AFORO:** Medida del caudal de una corriente de agua.

**BASE DE DATOS:** Conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.

**COADYUVANTE:** Que ayuda a la realización de una cosa.

**COAGULANTE:** son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales.

**DOSIS:** Cantidad o porción de una cosa.

**EUTROFIZACIÓN:** Enriquecimiento en nutrientes inorgánicos en un ecosistema

**FLOC:** Aglutinamiento de sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado

**FLOCULACIÓN:** es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes se desestabilizan coloides presentes en el agua formando flocs.

**ENERGÍA FOTOVOLTAICA:** Es una fuente de energía que produce electricidad, obtenida directamente de la radiación solar, mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar.

**MOTOREDUCTOR:** Dispositivos diseñados para reducir las revoluciones de un moto a las adecuadas para cumplir la tarea para la que esta dispuesto.

**NANOFILTRACIÓN:** Es el proceso mediante el cual se hace pasar un fluido a través de una membrana semipermeable a una determinada presión de forma que se produce una separación basada en el tamaño de las moléculas que pueden atravesar dicha membrana (entre 0.001 y 0.01 mm).

**POTABLE:** Que se puede beber sin peligro para la salud.

**SMOG:** Nube baja formada de dióxido de carbono, hollines, humos y polvo en suspensión que se forma sobre las grandes ciudades o núcleos industriales.

**SUMIDERO DE CO<sub>2</sub>:** 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

**TURBIDEZ:** Falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión.

**APROVECHAMIENTO:** Proceso mediante el cual , a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales o económicos.

**BIODEGRADABILIDAD:** Capacidad de descomposición rápida bajo condiciones naturales.

**BIOGAS:** Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de las basuras, cuyo componente principal es el metano.

## **RESUMEN.**

El acceso de la población a los servicios públicos en agua potable y saneamiento básico mide en gran medida la calidad de vida de los habitantes de una ciudad de acuerdo al Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). A nivel mundial se han reportado estudios científicos donde muestran que los procesos de potabilización de agua, manejo y disposición final de las aguas residuales y de residuos sólidos generan impactos al medio ambiente en especial aquellos relacionados con el Calentamiento Global que es causado a su vez por los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Una metodología medio ambiental que evalúa el impacto ambiental de los GEI de un proceso y/o servicio, es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Por lo tanto, el objetivo principal de la presente investigación es valorar el impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida en la ciudad de Pamplona, Colombia.

Los resultados obtenidos de esta investigación muestran que la operación de los tres servicios en 2014, se emitieron 129.295,30 ton de CO<sub>2</sub> eq, de los cuales el 99.55% fueron generados por la descomposición de los residuos sólidos el relleno sanitario, teniendo el mayor impacto el metano con el 90%; mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> representaron un 9,56%. El 0,29% de la generación correspondió al acueducto, donde los insumos de mayor impacto fueron debido al uso del coagulante del proceso de la potabilización y el uso del PVC. Finalmente, del total de las emisiones de los tres servicios, el alcantarillado generó una porcentaje de emisión de un 0.09% debido al uso de materiales de construcción; y con un porcentaje 0.06% correspondió al servicio del aseo, ocasionado por el combustible y las bolsas de polietileno.

Con los resultados obtenidos, se propusieron estrategias con el fin de mitigar y compensar emisiones de GEI ocasionados por aquellos procesos antropogenicos en el uso de los servicios públicos. Estas iniciativas incluyeron el uso de sumideros de CO<sub>2</sub> en bosques, reducción en el consumo de materiales, elaboración de programas de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos y principalmente la quema o el aprovechamiento del metano en el relleno sanitario la Cortada en programas MDL que permitirían reducir o compensar hasta en un 20% las emisiones CO<sub>2</sub> eq.

## **PALABRAS CLAVES.**

Análisis del ciclo de vida, ACV, Impacto ambiental, calentamiento global, potabilización, relleno sanitario, aguas residuales.

## 1. INTRODUCCION.

La continua demanda de bienes y servicios para proveer las necesidades básicas y de consumo de una población mundial en permanente crecimiento, ha llevado al ser humano al uso indiscriminado del planeta como proveedor de materias primas y como receptor de los residuos generados en sus actividades productivas (UNICEF, 2006). Los efectos ambientales causados por los procesos antropogénicos ya no son locales sino que tienen efectos a nivel global, por ello es necesario tomar conciencia que todos los procesos industriales o de servicios, a mayor o menor escala, tienen sus impactos adversos sobre el medio ambiente. Cuantificar y evaluar estos impactos es una necesidad imperativa que debe ser tomada en cuenta por nuestros gobiernos con el fin de tomar acciones encaminadas a su control y disminución de aquellas cargas ambientales que se emiten al medio ambiente (United Nation, 2012; Stackelber et al., 2004).

Sin embargo, aunque, la industrialización ha llevado a mejorar la calidad de vida de muchos de los habitantes del planeta, su progreso de invención ha llevado consigo el uso irracional de los recursos naturales y la generación de gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han generado problemas ambientales de efectos globales y han modificado drásticamente los parámetros de vida en el planeta (Khan et al. 2013; García-Vaquero et al., 2014; Ribera et al., 2014). Por ejemplo, los efectos del calentamiento global ya se están viviendo en todas partes del mundo, haciendo cada vez más frecuentes los desastres naturales el continuo deterioro del medio ambiente.

No obstante, estos fenómenos han despertado una conciencia colectiva para comenzar con la filosofía de la 6 “eres” repensar, reemplazar, recuperar, reciclar, reusar y reducir; así como a mejorar los patrones insostenibles de producción y consumo, lo cual es el mayor motivo, ya que a su vez agrava la pobreza y los desequilibrios de la humanidad (IPCC, 2013). Este enfoque sistemático hace que sea un desafío imperativo para desvincular los daños ambientales del crecimiento económico, atendiendo así al llamado a que se deben buscar estrategias que mejoren los indicadores ambientales (Schäfer, 2014); mediante la aplicación de estrategias orientadas al producto desde una perspectiva del pensamiento del de vida. Eso sin ninguna duda podría permitir obtener procesos más limpios y sostenibles y por tanto, mejorar la calidad de vida de los consumidores del producto final (Mery et al. 2014; Villamizar et al 2015).

Mecanismos de tecnologías más limpias, las eco-etiquetas, declaraciones ambientales del producto (EPD), Ecodiseño, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) entre otros, han sido aplicadas para la identificación y promoción de alternativas

de control, minimización y de compensación para promover patrones de producción y consumo sostenibles conllevando a mejorar los indicadores ambientales.

La ACV es una metodología medio ambiental que sigue lineamientos internacionales de la norma ISO 14040, que permite evaluar el impacto ambiental de un producto/servicio, identificando y cuantificando sus flujos de energía y emisiones durante su ciclo de vida (ISO 14040, 2006).

A nivel global, esta metodología ha sido reportada en procesos de tratamiento de desalinización de agua (Bonton et. al., 2012), (Zhou et. al., 2014), (Meneses et. al., 2010), (Sombekke et. al., 1997). Su aplicación a procesos de potabilización de agua superficial han sido abordados por investigaciones realizadas por Pasqualino et al., 2013; Ribera et. al., 2014.

En plantas de tratamiento de agua potable y de desalinización se reportan los estudios desarrollados por la escuela politécnica federal de Lausanne Suiza donde empleó el (ACV) para comparar el impacto ambiental de los diferentes tratamientos de agua potable (Vince *et al*, 2008). En Holanda se comparó mediante el ACV los procesos de filtración entre el carbón activado versus la Nanofiltración (Sombekke *et al*, 1997). Otros estudios desarrollados por La Universidad de Natal, en Durban Sudáfrica (Friedrich, 2002) y (Mohapatra *et al.*, 2002) aplicaron el ACV para comparar procesos de filtración versus carbón activado y osmosis inversa en procesos de potabilización de agua.

También se han referenciado estudios de ACV mediante la comparación de plantas de tratamiento de agua de río y agua de mar en procesos de desalinización Copenhague, Dinamarca (Godskesen *et al.*, 2011). Un estudio por la Universidad Autónoma de Barcelona evaluó la evaluación ambiental del ciclo urbano del agua en condiciones mediterráneas con enfoque (ACV) en diferentes etapas: la abstracción y el tratamiento de aguas, distribución, recolección y tratamiento de aguas residuales (Amores et al., 2013).

Recientemente en la Universidad Politécnica de Cataluña se elaboró el Ciclo de vida y las evaluaciones de riesgo para la salud humana como herramientas para la toma de decisiones en el diseño e implementación de nanofiltración en el agua potable de plantas de tratamiento de agua (Ribera *et al.*, 2014). En Quebec Canadá se estudió mediante el dos plantas de tratamiento de agua, una planta real de nanofiltración y una planta convencional virtual analizando el método que menor impacta al medio ambiente (Bonton *et al.*, 2012).

En cuanto al servicio de aseo se tiene referencia del estudio realizado en Sakarya, Turquía en donde mediante el ACV, se evaluaron los impactos causados por las opciones de manejo de los residuos sólidos municipales como incineración, compostaje, reciclaje y relleno sanitario (A. Suna Erses, 2015).

A nivel nacional, estudios de ACV han reportado el uso de esta metodología al sector de la construcción, agricultura, biocombustibles (Ortiz *et al.*, 2008).

De los estudios antes mencionados, coinciden en la utilidad que tiene la ACV para mejorar la toma de decisiones ambientales y por tanto, a buscar que sus procesos sean más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Así mismo, se concluye que durante la última década, países en vía de desarrollo, han ido incursionando en la aplicación y *capacity-building* de la ACV enfocado a los diferentes sectores económicos, destacándose que para su aplicación ha sido fundamental involucrar a las empresas y gobiernos, pero que aún es necesario la creación de programas, apoyo financiero y asistencia técnica para que el ACV se convierta en una política fundamental y pueda ser la piedra angular de cualquier proceso industrial (Güereca *et al.* 2015; Valdivia 2015; Ortiz *et al.*, 2012).

Por lo tanto, los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico son de gran importancia teniendo en cuenta que son de uso diario, universal, de consumo directo de recursos naturales como el agua y principalmente por ser responsable del manejo de los residuos sólidos y líquidos producidos por las urbes de todo el mundo. La operación de estos servicios demanda alto consumo de productos y energía que conllevan a la generación de sustancias nocivas para el recurso hídrico y emisiones de gases de efecto invernadero. La cuantificación de los impactos adversos causados sobre el medio ambiente, le permite a los prestadores de estos servicios tomar acciones encaminadas a optimizar sus procesos, haciéndolos más sustentables.

Para nuestro conocimiento, basado en la literatura científica reportada, la metodología de la ACV aplicada a estos servicios públicos será una de las primeras a nivel local y nacional, el cual tiene un gran impacto en el área de la ingeniería ambiental. Es así, como a través de esta investigación el principal objetivo fue valorar el impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en la ciudad de Pamplona, Colombia; y basados en los resultados se proponen estrategias que conlleven a mitigar los efectos ambientales adversos que actualmente ocasionan los procesos de estos servicios.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Una correcta gestión de la calidad del agua que vaya encaminada a cumplir con lo que establece el séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio (MDGs) y más allá del 2015, es incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente (United Nation, 2012).

Para cumplir con este objetivo, se estima que Colombia deba invertir aproximadamente \$4.000 millones de dólares para garantizar un servicio de calidad de agua potable y mejorar los indicadores de necesidades insatisfechas al acceso del servicio de agua potable, vital para la salud pública y la vida humana (UNICEF, 2006). El mismo estudio reveló que en Colombia de un total de 1.027 planes de desarrollo municipales, el 70% de los municipios contaba con plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en la zona urbana y un 20% en la zona rural.

Estas PTAPs se caracterizan porque se abastecen de aguas superficiales principalmente provenientes de los ríos, y utilizan sistemas por gravedad, bombeo y/o usan sistemas mixtos que permiten llevar el agua a la fuente de captación y por tanto a la primera etapa del proceso de potabilización. Seguidamente, se aplican metodologías convencionales que siguen una secuencia de procesos más o menos estándar basadas en tratamientos físico-químicos y en algunos casos biológicos, los cuales requieren de insumos químicos y energía que garanticen la obtención de un producto apto para el consumo humano que deben ser tratadas de manera diferente dependiendo de la calidad del agua que entra en la planta (Stackelber et al., 2004). No obstante, el uso excesivo de agentes químicos como coagulantes, floculantes, estabilizadores de pH, productos de desinfección; o el consumo de energía impactan no solo la salud del consumidor sino que también generan cargas ambientales al medio ambiente (Khan et al. 2013; García-Vaquero et al., 2014; Ribera et al., 2014).

Según el DANE en la encuesta nacional de calidad de vida de 2013, la cobertura de acueducto, alcantarillado y aseo en el área urbana supera el 90% en los tres servicios, sin embargo para el Alcantarillado tan solo el 50% de las ciudades cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales causando un terrible impacto sobre las fuentes hídricas receptoras. En cuanto a la disposición final de los residuos sólidos se obtuvo que más del 80% se están confinando en rellenos

sanitarios, con la consecuente producción de gases de efecto invernadero derivado de la descomposición de los residuos.

Este hecho ha generado en la sociedad y en la industria la necesidad de buscar nuevas estrategias que mejoren los indicadores ambientales (Schäfer, 2014) que permitan obtener procesos más limpios y sostenibles y por tanto, mejoren la calidad de vida de los consumidores del producto final (Mery et al. 2014; Villamizar et al 2015).

Metodologías medio-ambientales como el Análisis del Ciclo de Vida o ACV sigue lineamientos de la Norma internacional ISO 14040, permiten evaluar las cargas ambientales generados por un proceso y/o producto durante su ciclo de vida, con el fin de proponer alternativas que mitiguen los daños generados al ambiente (ISO, 2006). En el área de la ciencia y tecnología del agua se han reportado estudios internacionales relevantes de ACV en plantas desalinizadoras de agua (Bonton et. al., 2012., Zhou et. al., 2014., Godskesen et al., 2011., Meneses et. al., 2010., Sombekke et. al., 1997) y en procesos de potabilización de agua superficial (Amores et al., 2013., Pasqualino et al., 2013; Ribera et. al., 2014., Vince et al, 2008., Friedrich, 2002., Mohapatra et al., 2002) donde los investigadores coinciden en la utilidad que tiene la ACV para mejorar la toma decisiones ambientales y por tanto, a buscar que sus procesos sean más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La preocupación por el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación causada por el uso de químicos y producción de energía, han influenciado a la industria en la búsqueda de soluciones que minimicen estos impactos (Schäfer, 2014). La prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico hace parte de esta problemática, por su gran importancia en el diario vivir de las personas de todo el mundo y su gran responsabilidad en el manejo de los residuos urbanos. El análisis del ciclo de vida en la operación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en Pamplona, Norte de Santander, es una alternativa con el fin de aplicar y proponer estrategias más sostenibles y comprometidas con el medio ambiente.

La operación de estos servicios demanda alto consumo de productos y energía que conllevan a la generación de sustancias nocivas para el recurso hídrico y emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, por medio de esta investigación se pretende dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Cómo mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida se pueden proponer estrategias medioambientales para evaluar y mitigar impactos adversos generados por la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la ciudad de Pamplona con el propósito que los procesos sean más amigables con el medioambiente?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Valorar el impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en la ciudad de Pamplona, Colombia.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar durante su ciclo de vida las diferentes fases en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
- Desarrollar estrategias ambientales que disminuyan los impactos adversos en el proceso de prestación de servicios públicos a través del ACV.

## **5 MARCO TEÓRICO**

La presente tesis de investigación sigue lineamiento de la norma ISO 14040. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología medioambiental que permite evaluar las cargas ambientales (positivas o negativas) generadas al medio ambiente y asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando, tanto el uso de materia y energía como su impacto en el entorno, con el fin de evaluar una serie de alternativas que mitigue los daños generados (ISO 14040).

El seguimiento a los procesos industriales desde el punto de vista ambiental es indispensable en una sociedad de consumo que genera multitud de opciones en productos y servicios, que dejan una huella contaminante a lo largo de su ciclo de vida, como medio para identificar oportunidades de mejorar su desempeño ambiental se estructuró la norma técnica ISO 14040 que dicta los lineamientos básicos para el ACV.

### **5.1 FASES DEL ACV**

El ACV consta de cuatro fases:

- a) La fase de definición del objetivo y el alcance,
- b) La fase de análisis del inventario,
- c) La fase de evaluación del impacto ambiental,
- d) La fase de interpretación.

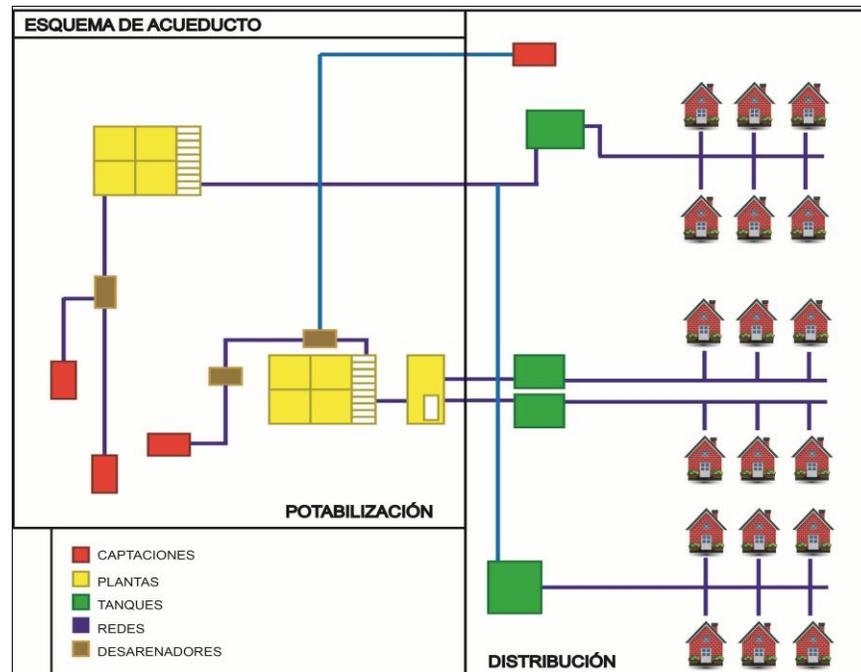
#### **5.1.1 Objetivos y Alcance:**

“El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular. Hay casos en los cuales el objetivo de un ACV se puede satisfacer desarrollando únicamente un análisis de inventario y una interpretación.” (ISO 14040).

Para efectos del presente estudio se ha considerado, caracterizar los diferentes servicios públicos agrupándolos en las diferentes actividades ejecutadas en la prestación de cada uno de los servicios. Estas se han organizado en procesos que comparten algunas características similares, para facilitar su evaluación y análisis.

Para el servicio de acueducto se ha dividido en dos procesos: Potabilización y Distribución. La potabilización se refiere a las actividades de tratamiento del agua cruda para lograr su potabilización, en este proceso se presenta consumos de sustancias químicas como coagulantes, cloro, reactivos de laboratorio, energía y algunos materiales. La Distribución es el proceso que permite llevar el agua potable hasta las viviendas por medio de tanques y redes de acueducto, para su operación se requiere realizar obras de ampliación, reposición de redes, trabajos de mantenimiento y atención de daños etc. Se presentan altos consumos de tuberías y accesorios de PVC, Hierro fundido, cobre, acero, Asbesto cementos, también se usan pegantes, limpiadores y materiales de construcción etc.

Figura 1. Representación del servicio de Acueducto.

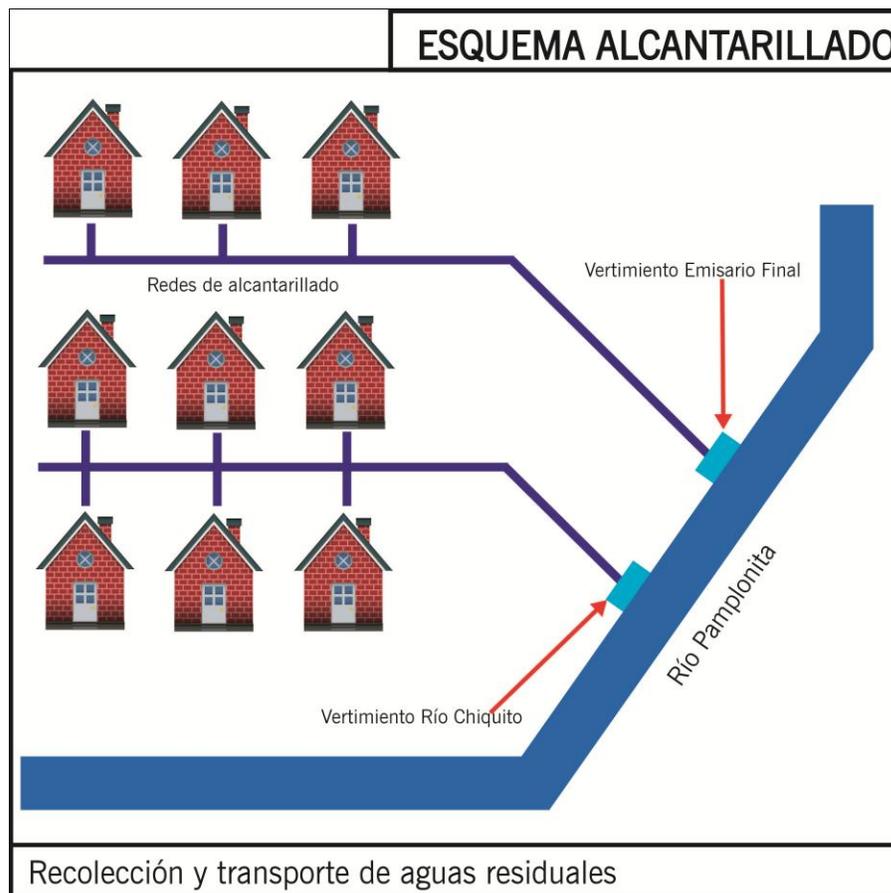


Fuente: El Autor.

En el servicio de alcantarillado, mencionamos que actualmente el municipio no cuenta con Planta de tratamiento de aguas residuales ni ningún otro proceso similar, por ello todas las actividades de alcantarillado se agruparon en un solo proceso denominado recolección y transporte de aguas residuales con vertimiento al río Pamplonita. Para su operación se requiere realizar obras de ampliación, reposición de redes, construcción de pozos, trabajos de limpieza, mantenimiento y atención de daños etc. Se presentan altos consumos de tuberías y accesorios de

materiales como PVC, Asbesto Cemento, gres, también se usan pegantes, limpiadores y materiales de construcción entre otros.

Figura 2. Representación del servicio de alcantarillado.



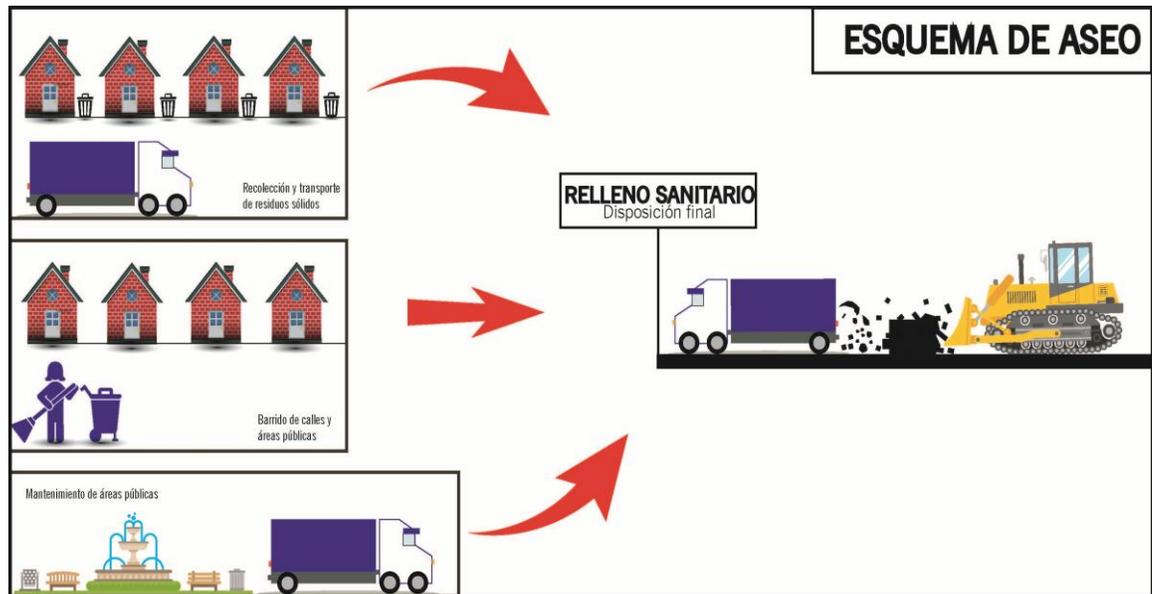
Fuente: El Autor.

Finalmente para el servicio de aseo, se consideraron cuatro procesos. El primero es la recolección y transporte de residuos sólidos urbanos RSU, en donde se presenta alto consumo de combustibles, lubricantes, refracciones para vehículos. El segundo proceso es el barrido y limpieza de calles donde hay consumo de bolsas de polietileno, escobas, recogedores, dotaciones de seguridad industrial etc. El tercero es el mantenimiento de parques en donde se usa algunos materiales de construcción, combustibles y herramienta menor. El cuarto proceso es la disposición final a donde llegan todos los residuos producidos en los otros

tres procesos, aquí se presenta alto consumo de combustible, materiales de construcción, insecticidas entre otros materiales.

Adicionalmente se evaluara por separado la generación de gases de efecto invernadero, producto de la descomposición de los residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario la Cortada de Pamplona.

Figura 3. Representación del servicio de aseo.



Fuente: El Autor.

Para la presente investigación, se enfocó exclusivamente al componente operativo de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo durante el año 2014.

Para la toma de información se optó por el método de muestreo por bloques, que consiste en dividir el sistema en segmentos de estudio (RPS-Qualitas). Siendo los bloques generales los servicios y los subgrupos las respectivas etapas de cada servicio.

La unidad funcional se basó en el "metro cubico de agua potable" para el servicio de Acueducto y agua residual para el Alcantarillado (Pasqualino 2013; Ribera 2014). El servicio de Aseo se seleccionó la tonelada de residuos sólidos, recolectados, transportados y depositados en el relleno sanitario (Beylot et al 2013; Sin Woon et al 2014).

### 5.1.2 Análisis de Inventario:

“La fase de análisis del inventario del ciclo de vida es la segunda fase del ACV. Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio definido” (ISO 14040).

Por lo tanto, esta fase consistió en realizar un inventario de los datos de entrada/salida de insumos energía y flujos empleados para llevar a cabo los procesos en los servicios estudiados, en relación con el sistema bajo estudio.

Para la realización de esta fase se recopiló información sobre los procesos de los servicios, que se les aplicó el análisis de ciclo de vida, se analizaron las cantidades necesarias de insumos, la energía de los procesos y su factor contaminante equivalente, usado en el software de cálculo de los impactos ambientales. Para llevar a cabo este proceso se contó con dos tipos de fuentes de información: las fuentes primarias y secundarias.

**Las fuentes primarias:** Fue la adquisición de información directamente en la empresa prestadora de los servicios en este caso Empopamplona E.S.P soportada en documentación que la empresa dispuso para el estudio de cada uno de los procesos llevados a cabo para prestar los servicios de Acueducto Alcantarillado y Aseo (AAA).

**Las fuentes secundarias:** Son las llamadas bases de datos; estas bases de datos proporcionan la información necesaria para terminar de elaborar y analizar el inventario a través de la internet o programas informáticos (p. e. Ecoinvent). Este proceso requiere una considerable cantidad de tiempo, empleado para la búsqueda de elementos y flujos necesarios para llevar a cabo los procesos.

#### 5.1.2.1 Fuentes primarias

La información suministrada por la empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P en la aplicación del ACV, correspondió a doce meses de funcionamiento, que comprende de Enero a Diciembre del 2014, seleccionado de esta manera por la disponibilidad y fiabilidad de la información en los tres servicios.

Las entradas y salida de insumos empleados en los servicios de alcantarillado acueducto y aseo, en conjunto con la información de las fuentes secundarias, se elaboraron las tablas de materiales.

La tabla se elaboró tomando la cantidad de cada uno de los insumos utilizados, se calculó su peso unitario a partir de los catálogos de los fabricantes o por medición directa, posteriormente se multiplico este valor por la cantidad de elementos

usados y se obtuvo el valor total usado, por unidad de masa. Posteriormente se toma el valor total y se divide por el valor de las unidades producidas en un año ( $m^3$ , ton), obteniéndose así un valor en términos de unidad de masa / unidad funcional.

Para el servicio de acueducto, se obtuvieron 175 elementos usados, la unidad funcional es el  $m^3$  de agua potable producida y distribuida, con una producción total en 2014 de 3'524.029  $m^3$ /año. (Ver anexo 1).

Para el servicio de alcantarillado, se evaluaron 84 elementos usados, la unidad funcional es el  $m^3$  de agua residual recolectada y vertida, con un vertimiento anual de 2'404.620  $m^3$ /año. (Ver anexo 1).

Para el servicio de aseo, se evaluaron 91 elementos usados, la unidad funcional es el tonelada de residuos sólidos, con un total de 12.624 ton /año de residuos recolectados y dispuestos en el relleno sanitario en 2014. (Ver anexo 1).

#### 5.1.2.2 Fuente secundaria de información

Inventario de fuentes secundarias de información se llevó a cabo en la base de datos Ecoinvent versión 3.1, es una 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 la Sostenibilidad.

El objetivo de esta herramienta es establecer y proporcionar una evaluación transparente, científica e internacional del ACV y los datos de gestión de ciclo de vida, para servicio de la industria, las consultorías, las autoridades públicas, y las instituciones de investigación. Los datos y servicios que apoyan la mejora del comportamiento medioambiental de sus productos, procesos y servicios.

Los insumos necesarios recopilados en el inventario con fuentes primarias de información, se referenciaron en la base de datos digital Ecoinvent versión 3.1, fuente secundaria de información, con ella se referenciaron materiales, sustancias y energía presentes en la base de datos, que son empleados en los procesos de prestación de servicios públicos.

En casos concretos donde no se contó con la información específica de determinados elementos se optó por la definición de un aproximado, basándose en la premisa de flexibilidad de la norma ISO14040, y en estudios previos que abalan la utilización de un elemento aproximado con características contaminantes y de huella de carbono similares. Con esta información se estructuró una matriz

compuesta por los elementos empleados en los procesos de los servicios públicos de AAA, y las sustancias contaminantes calculadas por Ecoinvnet 3.1, para dichos elementos con sus respectivos valores de cálculo de impacto con la metodología CML2001; así como también una organización predeterminada por la base de datos.

Los suministros de igual composición se acumularon en un solo elemento (p.e. tuberías pvc, uniones pvc, adaptadores pvc, se cumularon en PVC), obteniendo así 44 elementos referenciados en la base de datos los cuales se muestran en las siguientes tablas, algunos de ellos se usan en los tres servicios y fueron evaluados en cada uno de ellos por separado.

Para Acueducto se obtuvo lo siguiente:

Tabla 1. Inventario de fuentes primarias y secundarias para el Servicio de Acueducto.

<b>MATERIALES</b>	<b>unidad</b>	<b>Valor en función de UF</b>	<b>Nombre en ecoinvent</b>
<b>Coagulante</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,012790757	Aluminium hydroxide
<b>Elementos en HF</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,0003431	cast iron, at plant
<b>Cemento</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,0029918	concrete block
<b>Elementos en Cobre</b>	Kg/m <sup>3</sup>	4,335E-05	copper product manufacturing
<b>Cloro Gaseoso</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,001494312	Chlorine, gaseous,
<b>Consumo eléctrico</b>	Kw/h	0,005143545	Electricity mix
<b>Adhesivos</b>	Kg/m <sup>3</sup>	3,06467E-06	epoxy
<b>Limpiador PVC</b>	Kg/m <sup>3</sup>	4,35865E-06	Ethyl Acetate
<b>Triturado y grava</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,068337973	gravel
<b>Aceite Para Canguro</b>	Kg/m <sup>3</sup>	2,364E-07	lubricating oil
<b>Pintura</b>	Kg/m <sup>3</sup>	2,80673E-05	paint
<b>Gasolina</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1,629E-06	petrol
<b>Lentes De Seguridad</b>	Kg/m <sup>3</sup>	2,27013E-07	polycarbonate
<b>Polietileno</b>	Kg/m <sup>3</sup>	7,44602E-06	polyethylene

<b>Polipropileno</b>	Kg/m <sup>3</sup>	7,09415E-08	polypropylene
<b>PVC</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,059231026	pholivinil
<b>acero</b>	Kg/m <sup>3</sup>	2,56326E-06	reinforcing steel
<b>arena</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,022218886	sand, at mine
<b>Láminas de acero</b>	Kg/m <sup>3</sup>	3,9103E-06	sheet rolling, steel
<b>varillas</b>	Kg/m <sup>3</sup>	3,82173E-05	Steel product manufacturing
<b>Teflón</b>	Kg/m <sup>3</sup>	7,34954E-07	tetrafluoroethylene
<b>Soldadura PVC</b>	Kg/m <sup>3</sup>	4,693E-06	TETRAHYDROFURAN
<b>Soldadura 6013</b>	m	1,771E-05	welding
<b>alambre</b>	Kg/m <sup>3</sup>	2,52552E-05	wire
<b>ACPM</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0,002397809	fuel oil
<b>Pruebas de laboratorio</b>			
<b>Cloro residual EDTA</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1,41883E-07	ethylenediaminetetraacetic acid
<b>H2SO4</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1,39045E-09	sulfuric acid
<b>Amoniaco</b>	Kg/m <sup>3</sup>		

Fuente: El Autor.

Para el servicio de Alcantarillado se obtuvo:

Tabla 2. Inventario de fuentes primarias y secundarias para el Servicio de Alcantarillado.

<b>Inventario fuentes primarias y secundarias servicio Alcantarillado</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>unidad</b>	<b>Valor en función de UF</b>	<b>Nombre en ecoinvent</b>
<b>ACPM</b>	kg/m3	0,00351398176	fuel oil
<b>Adhesivos</b>	kg/m3	0,00002067660	epoxy
<b>alambre negro</b>	kg/m3	0,00001642650	wire drawing, stee
<b>alcohol</b>	kg/m3	0,00000098060	methanol, from synthetic
<b>Anticorrosivo</b>	kg/m3	0,00000000890	poliamida epoxy
<b>arena lavada</b>	kg/m3	0,09113588359	sand, at mine

<b>cal hidratada</b>	kg/m3	0,00000207930	lime, hydrated, packed, at plant
<b>Cemento</b>	kg/m3	0,01827500071	cement, unspecified
<b>Concreto</b>	kg/m3	0,00172166351	concret
<b>creolina</b>	kg/m3	0,00002570019	phenol production
<b>Elementos de Caucho</b>	kg/m3	0,00001586592	rubber
<b>Elementos en PVC</b>	kg/m3	0,00246547413	pvc
<b>gasolina</b>	kg/m3	0,00001318279	petrol
<b>geotextil</b>	kg/m3	0,00000276963	Polystyrene, high impact
<b>hojas de segueta</b>	kg/m3	0,00000050735	steel
<b>Ladrillos</b>	kg/m3	0,00596968108	brick
<b>lentes de seguridad</b>	kg/m3	0,00000059884	polycarbonate
<b>limpiador</b>	kg/m3	0,00000046285	Ethyl Acetate
<b>lubricante</b>	kg/m3	0,00000623791	lubricating oil
<b>manguera PF de 1/2"</b>	kg/m3	0,00000047824	HDPE
<b>Materiales de Cobre</b>	kg/m3	0,00000065124	copper product manufacturing
<b>Materiales de HF</b>	kg/m3	0,00026791995	cast iron, at plant
<b>palas redondas</b>	kg/m3	0,00003231238	sheet rolling, steel
<b>pintura esmalte P - 40</b>	kg/m3	0,00000228723	paint
<b>plástico de pilietileno</b>	kg/m3	0,00004632689	polyethylene
<b>soldadura 6013</b>	mt/m3	0,00001463830	welding
<b>soldadura PVC</b>	kg/m3	0,00000045869	TETRAHYDROFURAN
<b>Tapabocas</b>	kg/m3	0,00000050735	polypropylene
<b>Teflón</b>	kg/m3	0,00000007278	tetrafluoroethylene
<b>triturado</b>	kg/m3	0,07287127941	gravel
<b>Varillas</b>	kg/m3	0,00085511783	building steel

Fuente: El Autor.

Para el servicio de aseo se obtuvo:

Tabla 3. Inventario de fuentes primarias y secundarias para el Servicio de Aseo

Insumo o flujo	Cantidad en función de UF	Unidad	Ecoinvent
<b>PVC</b>	0,014312183	kg/ton	polyvinylchloride
<b>ACPM</b>	3,147709125	kg/ton	fuel oil
<b>Acero de construcción</b>	0,040345374	kg/ton	steel product manufacturing
<b>Limpiador PVC</b>	5,8539E-05	kg/ton	Ethyl Acetate
<b>Soldadura PVC</b>	6,6540E-05	kg/ton	TETRAHYDROFURAN
<b>Triturado y grava</b>	20,84838403	kg/ton	gravel
<b>Aceite 4T y 2T</b>	0,000590067	kg/ton	lubricating oil

<b>Insecticidas</b>	0,001280648	kg/ton	organophosphorus
<b>Pintura</b>	0,00375	kg/ton	paint
<b>Gasolina</b>	2,092817174	kg/ton	petrol
<b>Policarbonato</b>	0,003061629	kg/ton	polycarbonate
<b>Polietileno</b>	0,457806717	kg/ton	polyethylene
<b>Hierro Fundido</b>	0,022564956	kg/ton	cast iron, at plant
<b>Polipropileno</b>	0,010838878	kg/ton	polypropylene
<b>Caucho</b>	0,004396388	kg/ton	rubber
<b>Láminas de acero</b>	0,00213403	kg/ton	sheet rolling, steel
<b>Textiles</b>	0,004958809	kg/ton	textil
<b>Alambre</b>	0,028279468	kg/ton	wire
<b>Geotextil</b>	0,023764259	kg/ton	Polystyrene, high impact
<b>Ladrillos</b>	0,272496831	kg/ton	brick
<b>Cemento</b>	0,205362801	kg/ton	cement, unspecified
<b>Canecas plásticas</b>	0,004134426	kg/ton	HDPE
<b>Herbicida</b>	9,18885E-05	kg/ton	herbicides, at regional storehouse,
<b>Ácido Muriático</b>	0,00017744	kg/ton	hydrochloric acid
<b>Cal Hidratada</b>	0,012674271	kg/ton	lime, hydrated, packed, at plant
<b>Creolina</b>	0,00652725	kg/ton	phenol production
<b>Anticorrosivo</b>	0,000677281	kg/ton	poliamida epoxy
<b>Arena</b>	1,80608365	kg/ton	sand, at mine
<b>Jabón</b>	0,014258555	kg/ton	soap
<b>Límpido</b>	0,001267427	kg/ton	sodium chloride
<b>Soldadura</b>	0,001013942	m/ton	welding
<b>Consumo electrico</b>	0,220373891	KWh/ton	Electricity mix / BR
<b>Metano - CH4</b>	309,9648058	kg/ton	Methane, biogenic
<b>Dioxido de carbono - CO2</b>	740,858264	kg/ton	Carbon dioxide, biogenic
<b>Amoniaco -NH3</b>	27,83999219	kg/ton	Ammonia

Fuente: El Autor.

### 5.1.3 Evaluación del Impacto:

“La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) es la tercera fase del ACV. El objetivo de la EICV es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental” (ISO 14040).

Para la evaluación del impacto se usa la metodología CML2001 (Frischknecht R. et al., 2007) considerando la base de datos Ecoinvent 3,01.

En esta investigación se calcularon los factores de emisiones para el indicador ambiental del Calentamiento Global debido a la importancia y relevancia que tiene este indicador con el fin de buscar alternativas que reduzcan el impacto de la prestación de los servicios públicos.

Por lo tanto, se evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero tomando los factores expresados en el Potencial de Calentamiento Global con un horizonte de tiempo 100 años (GWP100) y medidos en en kg CO<sub>2</sub>-Equivalentes por Unidad Funcional UF. El ámbito geográfico de este indicador es a escala global. Se agregaron algunos factores de caracterización del método 100 GWP IPCC 2001: El metano, bromodifluoro, Halon 1201, metano, dichlorofluoro, HCFC-21, y el metano, iodotrifluoro (Frischknecht R. et al., 2007). Así mismo se tomaron en consideración los GEI como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, y CFCs. Su medida se hará relativa respecto al efecto producido por un kg de CO<sub>2</sub> y se calculará mediante la ecuación:

$$CCI = \Sigma GWP \times m$$

Donde (m) es la masa de la substancia i expresada en kg y GWP es el potencial de calentamiento global, un factor desarrollado para comparar las emisiones de diferentes gases invernaderos. Se define como la relación entre la contribución a la absorción de calor resultante de la emisión de 1 kg de un gas con efecto invernadero y la emisión equivalente de CO<sub>2</sub> a lo largo de un tiempo T (100):

$$GWP_{T,i} = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$$

Donde a<sub>i</sub> es el calentamiento producido por el aumento de la concentración de un gas i, W·m<sup>-2</sup>·kg<sup>-1</sup> y c<sub>i</sub>(t) es la concentración del gas i en el tiempo t, kg·m<sup>-3</sup>. Los valores correspondientes al CO<sub>2</sub> se incluyen en el denominador. Los valores de GWP son publicados periódicamente por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (et al A Vallejo 2004).

En la siguiente tabla se dan dichos valores para las dos últimas revisiones de 1999 y 2001. GWP dependerá del tiempo de integración. La elección de dicho período vendrá determinado por el tipo de efectos que se pretendan analizar (et al A Vallejo 2004).

<b>Substancia</b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(1)</sup></b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(2)</sup></b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(1)</sup></b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(2)</sup></b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(1)</sup></b>	<b>GWP<sub>20</sub><sup>(2)</sup></b>
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	64	62	24	23	7.5	7
Halon1301(CF <sub>3</sub> Br)	7.900	7.900	6.900	6.900	2.700	2.700
Oxido de Nitrógeno (N <sub>2</sub> O)	330	275	360	296	190	156
Tetra fluoruro de Carbono (CF <sub>4</sub> )	3.900	3.900	5.700	5.700	8.900	8.900

<sup>(1)</sup>(TEAM, 1999)

<sup>(2)</sup>(IPCC, 2001)

Para efectos de cálculo se utilizó el software LCA-Data. El uso del LCAManager se dividió en 6 etapas de cálculo que se describen a continuación:

- 1<sup>a</sup>. Caracterización: entrada de datos.
- 2<sup>a</sup>. Inventario: obtención del inventario.
- 3<sup>a</sup>. Indicadores: selección indicadores.
- 4<sup>a</sup>. Impactos: obtención matrices impacto.
- 5<sup>a</sup>. Resultados: obtención resultados.
- 6<sup>a</sup>. Gráficos: definición gráficos a mostrar.

#### **5.1.4 Interpretación del Análisis del Ciclo de vida:**

La interpretación del ciclo de vida es la fase final del procedimiento de ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

El ACV de la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en el Municipio de Pamplona, tiene como objetivo resaltar procesos, insumos o flujos energéticos que afecten directa o indirectamente el medio ambiente. Teniendo en cuenta que la mayoría de los procesos de prestación de servicios públicos en el país carece en su mayoría de tecnologías que garanticen bajo impacto ambiental, se hace indispensable realizar estudios, para elaborar un panorama donde se sondee la problemática de contaminación ambiental generado por dichos procesos.

Esta es la última etapa de análisis de ciclo de vida que será presentada en el siguiente capítulo, contiene la información obtenida con respecto al análisis de ciclo de vida de manera gráfica y numérica con especial énfasis en los procesos en los cuales se presentan dichos eventos.

Para esta fase se ha llevado a consideración la información que se recolecto durante la aplicación de las fases de un ACV de la siguiente manera, ver figura 4:

- ✓ En cada servicio se analizaran individualmente los datos primarios y secundarios para cada uno de los procesos.

- ✓ Los datos obtenidos se llevan al LCA Manager para su análisis.
- ✓ Los resultados parciales obtenidos por proceso se comparan entre ellos para cada servicio, luego se obtiene un consolidado global por servicio y se comparan.
- ✓ Se analizan los resultados globales por servicio.
- ✓ Se realiza un análisis final en el que se incluyen los datos obtenidos de la emisión de gases de efecto invernadero - GEI del relleno sanitario.

Figura 4. Tratamiento numérico de la información.



## 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS

Para la caracterización de los servicios públicos ofrecidos por la empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. se tomaron el servicio de acueducto, el servicio de alcantarillado y el servicio de aseo. En cada una de ellas se recolectó información pertinente para cada uno de los procesos llevados a cabo en la prestación de dichos servicios.

En el servicio de acueducto no se incluyó lo relacionado con el manejo de lodos de las plantas de potabilización, en el servicio de alcantarillado no se incluyó el análisis de la descarga de aguas residuales y en el servicio de aseo se realizó un análisis diferenciado para la generación de gases en el relleno sanitario La Cortada.

A continuación se realiza la caracterización de los componentes de cada uno de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de Pamplona.

### 6.1 SERVICIO DE ACUEDUCTO.

#### 6.1.1 Diagnostico del sistema de acueducto del municipio de pamplona.

La historia del servicio de acueducto en la ciudad Pamplona, está ligada a la historia de la empresa prestadora “**Empopamplona S.A. E.S.P.**” que fue creada mediante escritura pública No 434 del 20 de Diciembre de 1963 como “Acueductos y alcantarillados de Pamplona”

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. Es una empresa de servicios públicos, de economía mixta, dedicada a la producción y comercialización de agua potable, que presta además los servicios de alcantarillado y aseo, de acuerdo a lo dispuesto en la ley 142 y en las demás normas y decretos reglamentarios.

Está enmarcada dentro de las políticas emitidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD y regulada por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA.

Tabla. 4 Identificación de los componentes del sistema de acueducto.

		SUBSISTEMA - COMPONENTE	EXISTE (SI/ NO)	CANT.	TIPO DE ESTRUCTURA	OBSERVACIONES
		<b>IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO</b>	<b>SUBSISTEMA PRODUCCIÓN</b>	<b>Proceso de Captación</b>		
Cuenca	SI					Rio Pamplonita
Fuente	SI			4		Quebradas Monteadentro, Rosal, Ucuques y Morronegro
Captación	SI			4	Rejilla de Fondo	Estructura en concreto
Estación de Bombeo	NO					
Aducción - Impulsión	SI			4	Canal – Tubería	
Desarenador	SI			4	Convencional	
<b>Proceso de Tratamiento</b>						
Adición	SI		4	Tubería	Tuberías en diferentes diámetros y materiales	
Tratamiento - macromedición	SI		2	Convencional	Canaleta Parshall a la entrada de la planta	
<b>Proceso de Distribución</b>						
Bombeo	SI		1		Instalaciones pero usados solo en contingencias	
Almacenamiento	SI		14		En concreto, semienterrados	
Macromedición	SI		3		Ubicados a la salida de la planta cariongo.	
Distribución	SI			Tubería	Por gravedad	
Redes principales	SI	24.970 ml		Tubería	Diferentes materiales, diámetros entre 16" 8'	
Redes secundarias	SI	72.190 ml		Tubería	Diferentes materiales, diámetros entre 6" 1/2'	
Conexiones domiciliarias	SI	10,65		Tuberías	Diferentes diámetros y materiales	
Instalaciones internas o intradomiliaria	SI	10,65		Tuberías	Diferentes diámetros y materiales	

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015.

A manera general se presenta a continuación el diagnóstico técnico del sistema de acueducto, teniendo en cuenta la información de cada uno de los componentes del sistema.

#### 6.1.1.1 Fuente Abastecedora.

El acueducto de Pamplona tiene muy buenas fuentes de abastecimiento que pueden garantizar el suministro de agua potable en el corto, mediano y largo plazo, pero se requiere adelantar acciones urgentes tendientes a aumentar la capacidad de almacenamiento de reserva del acueducto municipal.

Tabla 5 Diagnóstico de la Fuente

		Nombre de La Fuente	Q. Cariongo	Q. Rosal	Q. Ucuques	Q. Morronegro
<b>DIAGNOSTICO DE LA FUENTE</b>	<b>UBICACION</b>	Cuenca hidrográfica	Pamplonita	Pamplonita	Arauca	Arauca
		Municipio	Pamplona	Pamplona	Pamplona	Pamplona
		Vereda	Monteaden	Rosal	García	García
	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Tipo de fuente	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
		Caudal medio de la fuente (l/s)*	126,7	62,9	31,37	38,56
		Caudal mínimo de la fuente (l/s) *	90	51	28	30
		Tiene áreas de protección	NO	SI	SI	SI
*Los valores mínimos y medios de la fuente corresponden a aforos realizados entre Abril y Septiembre del 2014.						

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015.

#### 6.1.1.2 Captación:

La estructura, ya sea en canal o con tubos perforados localizados en el fondo del cauce, debe estar localizada perpendicularmente a la dirección de la corriente y provista con una rejilla para retener materiales de acarreo de cierto tamaño, construida de barras metálicas paralelas entre sí, colocadas en el sentido de la

corriente y removible para efectos de limpieza. En todo diseño de rejillas deben contemplarse los siguientes elementos: el caudal correspondiente al nivel de aguas mínimas en el río, el caudal requerido por la población y el nivel máximo alcanzado por las aguas durante las crecientes de periodo de retorno de mínimo 20 años.

El sistema de captación de Empopamplona está conformado por las 4 quebradas más representativas del municipio, relacionadas de la siguiente manera: La Captación Cariongo se abastece de la quebrada Monteadentro, La Captación El Rosal de la quebrada llamada de la misma manera, La captación El Mono toma el agua de la quebrada Ucuques, y por último la captación Potreritos de la quebrada Morronegro.

Tabla 6. Diagnóstico de la captación.

	NOMBRE DE LA CAPTACION				
	C. Cariongo	c. El Rosal	C. El Mono	C. Potreritos	
Nombre de la Fuente	Q. Monteaden	Q. Rosal	Q. Ucuques	Q. Morronegro	
Coordenadas	X = 1305378 Y = 1156600 h = 2.415 msnm	X = 1305962 Y = 1155023 h = 2.545	X = 1302904 Y = 1153961 h = 3.106	X = 1301465 Y = 1153103 h = 3.110 msnm	
Tipo de captación	Rejilla de fondo	Rejilla de fondo	Rejilla de fondo	Rejilla de fondo	
¿Tiene Bombeo?	NO	NO	NO	NO	
Macromedición	NO	NO	NO	NO	
Capacidad de Diseño	150 l/s	100 l/s	60 l/s	60 l/s	
Caudal Medio captado	70 l/s	40 l/s	25 l/s	30 l/s	
Tiene concesión de aguas	SI, Res. 0140/05	SI, Res. 0140/05	SI, Res. 0101/09	SI, Res. 0101/09	
Estado	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	
Mantenimiento	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
Fecha de Construcción	1960	1960	1988	1988	
Calidad de agua Captada*	Color (UPtCo)	33,59	25,59	11,38	20,12
	pH	7.48	7,39	7,55	7,51
	Conductividad (uS/cm)	59,98	67,81	41,40	45,29
	Turbiedad (NTU)	11,55	6,14	0,72	1,16
	Nitritos(mg/l)	0.02	0.01	0.00	0.0
	Cloruros(mg/l)	5,57	6,08	5,79	5,79
	Dureza(mg/l)	20	22.90	18.90	19.30
	Alcalinidad	24.80	25.30	24.30	24.60
	Coliformes Totales (bac/ml)	2200	570	74	26
	Coliformes fecales (bac/ml)	1480	430	58	16

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015.

El caudal promedio captado de las 4 fuentes abastecedoras del acueducto de Pamplona es de 165 lt/seg.

Figura 5. Sistemas de captación del acueducto EMPOPAMPLONA



Fuente: EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P

### 6.1.1.3 Desarenador:

Es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, y al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas. Los desarenadores

que conforman el sistema de EMPOPAMPLONA son de tipo convencional de flujo horizontal, se encuentran en un rango de capacidad entre 60-150 L/s según las condiciones de cada una de las plantas.

Tabla 7. Diagnóstico del Desarenador

DIAGNOSTICO DEL DESARENADOR	NOMBRE CAPTACIÓN	C. CARIONGO	C. ROSAL	C. EL MONO	C. POTRERITOS
	Nombre de la fuente	Q. Monteaden	Q. Rosal	Q. Ucuques	Q. Morronegro
Coordenadas	X = 1305378	X = 1305962	X = 1302904	X = 1301165	
	Y = 1156600	Y = 1155023	Y = 1153961	Y = 1153103	
	h = 2.407	h = 2.545	h = 3.106	h = 3.110 msnm	
	msnm	msnm	msnm		
Tipo	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	
Capacidad (l/s)	150 l/s	100 l/s	60 l/s	60 l/s	
Estado del acceso	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
Estado estructural	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
Mantenimiento y limpieza	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
Fecha de construcción	1960	1960	1988	1988	

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015.

#### 6.1.1.4 Línea de Aducción y Conducción:

La línea de aducción que permite el transporte del agua cruda del río a la estructura del desarenador, está construida para las captaciones de El Mono y Potreritos en tubería de PVC con diámetros de 8-10 pulgadas y una longitud total de 5300 y 1500 mts respectivamente.

En el caso de las captaciones de Cariongo y Rosal la línea de aducción-conducción está construida con materiales diferentes de concreto y asbesto-cemento respectivamente, considerándose como las líneas próximas a cambiar debido a que ya ese material no se utiliza para este tipo de estructuras.

Tabla 8. Diagnóstico de Aducción y Conducción.

DIAGNOSTICO DE ADUCCION Y CONDUCCION	NOMBRE ADUCCION - CONDUCCION	C. CARIONGO	C. ROSAL	C. EL MONO	C. POTRERITOS
	Tipo	Canal abierto	Tubería	Tubería	Tubería
	Material	Concreto	AC	PVC	PVC
	Sección/ diámetro	0.2 m <sup>2</sup>	10"	8" – 10"	8" – 10"
	Longitud (m)	200	2500	5300	1500*
	Capacidad de diseño (l/s)	150 l/s	100 l/s	60 l/s	60 l/s
	Caudal Medio transportado	70 l/s	40 l/s	25 l/s	30 l/s
	Existe almacenamiento	NO	NO	NO	NO
	Estado de conducción	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
	Mantenimiento	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
	Fecha de Construcción	1960	1960	1988	1988
	Nivel de pérdidas	2% (1.4 l/s)	10% (4 l/s)	5% (1.25 l/s)	3% (0.9 l/s)

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015

#### 6.1.1.5 Plantas de Tratamiento:

El sistema de potabilización para el municipio se encuentra instalado hace 50 años, se constituye por dos plantas de tratamiento, denominadas Planta Cariongo o planta Los Tanques ubicada en la Av. Santander, Barrio El Cariongo y la Planta Monte dentro ubicada en la vereda Monte dentro.

Figura 6. Plantas de tratamiento – Monte dentro y Cariongo.



Tabla 9. Diagnóstico de las planta de potabilización EMPOPAMPLONA.

		Ubicación	Barrio Cariongo
		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Coordenadas	X = 1305263 Y = 1156996 h = 2.400 msnm		
Captaciones asociadas	Cariongo – Rosal		
Tipo de planta	Convencional		
Capacidad de Tratamiento (l/s)	200		
Caudal medio tratado (l/s)	113		
Procesos de Tratamiento			
Desarenador	SI		
Coagulación	SI		
Floculación	SI		
Precipitación	SI		
Filtración	SI		
Desinfección	SI		
Químicos Utilizados			
Macromedición a la entrada	SI		
Macromedición a la salida	SI		
Almacenamiento	SI		
Consumo Interno (l/s)			
Estado de la Infraestructura	BUENO		
Mantenimiento	BUENO		
Fecha de construcción	1960		
Nivel de Pérdidas	<b>3% (2.43 l/s)</b>		
DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO		<b>PLANTA MONTEADENTRO</b>	
		Ubicación	Barrio Monteadentro
		Coordenadas	X = 1303981 Y = 1156285 h = 2.640 msnm
		Captaciones asociadas	El Mono – Potreritos
		Tipo de planta	Convencional
		Capacidad de Tratamiento (l/s)	80
		Caudal medio tratado (l/s)	49,98
		Procesos de Tratamiento	
		Desarenador	SI
		Coagulación	SI
		Floulación	SI
		Precipitación	SI
		Filtración	SI
		Desinfección	SI
		Químicos Utilizados	
		Macromedición a la entrada	NO
		Macromedición a la salida	NO
		Almacenamiento	NO
		Consumo Interno (l/s)	
		Estado de la Infraestructura	BUENO
Mantenimiento	BUENO		
Fecha de construcción	1960		
Nivel de Pérdidas	<b>3% (1.47 l/s)</b>		

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015

Dentro del proceso de potabilización convencional de Empopamplona E.S.P, se tiene que la planta Empopamplona está compuesta por las siguientes etapas:

- **Caudal**

La entrada a la planta está dotada de una válvula de 12” de Hierro Fundido La planta está diseñada para 200 lps, se trata en promedio 110 lps. (Empopamplona E.S.P.)

- **Aforo**

Unidad que permite medir la cantidad de agua que se va a tratar en forma precisa. Material Constructivo: Concreto. Canal Parshall, con una garganta de 9”, lleva una reglilla graduada en la cual se mide la altura de la lámina de agua, con la cual se determina el caudal que ingresa en Litros por Segundo. (Empopamplona E.S.P.)

- **Dosificación de químicos.**

Para esta actividad se utiliza El coagulante Clarifloc que neutraliza las cargas de las partículas en suspensión permitiendo su aglutinamiento para así formar partículas de mayor tamaño y densidad que sedimenten con mayor facilidad. Cuando la turbidez del agua incrementa sustancialmente se utiliza policloruro de aluminio que tiene el mismo efecto del sulfato de aluminio, ayuda a la clarificación del agua y su efecto sobre el pH es menor al Sulfato que cuando se incrementa su dosis lo disminuye significativamente con tendencia a acidificar el agua. (Empopamplona E.S.P.)

Se agrega a todo el caudal la cantidad exacta de coagulante predeterminada mediante ensayos, con la cual se busca producir la desestabilización y aglutinación de los sólidos en suspensión del agua. Los ensayos realizados para determinar la dosis óptima de coagulante se denominan las pruebas de jarras. (Empopamplona E.S.P.)

- **Mezcla rápida y Coagulación.**

La mezcla rápida y coagulación se lleva a cabo en una estructura denominada: “Canaleta Parshall”, la cual consiste en un canal estructurado entre secciones:

- Sección convergente: Entrada del agua.
- Garganta: Esta sección tiene una pendiente fuerte y debido a su estrechamiento, la velocidad se aumenta considerablemente produciéndose la turbulencia, la cual es aprovechada para la mezcla rápida.

- Sección divergente: Está localizada al final de la estructura y se caracteriza por tener una pendiente suave.

El coagulante agregado a todo el caudal de agua cruda debe mezclarse rápidamente. Para lograr la coagulación se requiere de una agitación vigorosa del agua y la turbulencia en el flujo para lograr el efecto esperado. El coagulante reacciona con el agua inmediatamente produciéndose hidrólisis, desestabilización de las partículas coloidales y la formación de microflocs. (Empopamplona E.S.P.)

- **Floculación.**

Después de que el coagulante se ha mezclado y coagulado en el agua empiezan a adherirse y aglutinarse las partículas difíciles de sedimentar dando lugar a la formación de flocs. Para que dichos flocs aumenten de tamaño y adquieran suficiente peso que les permita sedimentarse es necesario someter el agua a una agitación lenta decreciente, el periodo de retención debe estar entre 30 y 60 minutos.

La planta Cariongo cuenta con dos secciones de Floculación hidráulica de flujo vertical, las cuales están compuestas por cámaras floculadoras colocadas en serie con una pantalla deflectora en cada cámara. El flujo entra por el fondo y sale por encima de la pantalla. La agitación del agua se da por la velocidad de entrada de la misma. (Empopamplona E.S.P.)

- **Sedimentación.**

Consiste en la remoción de partículas (flocs) formadas en la Floculación que se depositan en el fondo del sedimentador por su propio peso gracias a la acción de la gravedad. Con la sedimentación se produce la clarificación del agua (Empopamplona E.S.P.).

La planta cuenta con dos sedimentadores rectangulares, hechos en concreto que constan de las siguientes zonas: (Empopamplona E.S.P.).

- *Zona de entrada:* hace que se dé un tránsito suave entre el flujo de agua que entra y el que se necesita en la zona de sedimentación.
- *Zona de lodos:* Recibe el material sedimentado que debe ser drenado posteriormente.
- *Zona de sedimentación:* es la parte del tanque para asentamiento.

- *Zona de clarificación.* Retiene algunas partículas que logran pasar la sedimentación por el sistema de rebose, contienen láminas de asbesto cemento de un cm de espesor colocadas a sesenta grados cada siete cm.
- *Zona de salida:* Contribuye a que se le dé un tránsito suave entre la zona de clarificación y el flujo de salida.

Adicionalmente, cuenta con dos sedimentadores acelerados o de alta tasa, que por medio de placas paralelas completan la remoción de las partículas. (Empopamplona E.S.P.)

- **Filtración.**

Este proceso consiste en retener las partículas suspendidas y coloidales que no se sedimentaron, haciéndolas pasar a través de un medio poroso, la filtración es una de las principales operaciones del tratamiento de aguas. Su función es la remoción de bacterias, la eficiencia de este proceso depende de la granulometría de la arena y remoción de la turbiedad remanente (Empopamplona E.S.P).

La planta Cariongo cuenta con dos estructuras de filtros rápidos por gravedad con medio filtrante de antracita, arena y grava. Se denominan rápidos por que operan a velocidades de filtración superiores a los 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ día (Empopamplona E.S.P).

Los filtros están compuestos por: Los lechos filtrantes, sistema de drenaje en el fondo, sistema de lavado superficial y el sistema de lavado ascensional (Empopamplona E.S.P).

- **Desinfección.**

Aplicación directa al agua de Cloro Gaseoso para eliminar agentes patógenos, capaces de producir infección o enfermedad en el organismo del ser humano, con la desinfección se logra la destrucción o por lo menos la desactivación de los pequeños organismos dañinos patógenos presentes en el agua, tales como: bacterias, protozoos, virus y otros organismos patógenos (Empopamplona E.S.P).

La desinfección con cloro se realiza por las siguientes razones:

- Está disponible como gas o líquido.
- Es comparativamente económico.
- La aplicación es relativamente fácil porque la solubilidad de cloro en agua en el agua puede considerarse alta, pues del orden de 7000 mg/l a 20 °C y a 1 atm de presión.
- Permite dejar cloro residual en el agua que actúa como protección contra una posible contaminación en la red de distribución.
- Tiene poder bactericida bastante alto.
- Es un elemento oxidante poderoso.

Aunque se debe tener mucho cuidado con su manejo por ser un gas venenoso, es altamente corrosivo en solución, y puede formar con los compuestos orgánicos otras sustancias que le dan mal sabor al agua (Empopamplona E.S.P).

En la planta de tratamiento existe la siguiente maquinaria para la aplicación de cloro gaseoso: 2 cilindros de una tonelada de cloro gaseoso, válvula de admisión de cloro, detector de cloro, un eyector y conexiones flexibles. (Empopamplona E.S.P.)

- **Almacenamiento en la Planta de tratamiento.**

Dentro de las partes fundamentales que integran un sistema de acueducto, la distribución representa frecuentemente más del 60% de su costo total. Para garantizar un eficiente servicio es necesario contar con depósitos de almacenamiento, que sean suficientes para abastecer la demanda de máximo consumo que se presente durante el día. Los tanques de almacenamiento son un componente esenciales y su propósito fundamental es proveer una cantidad adecuada en las demandas requeridas (Empopamplona E.S.P).

Para el almacenamiento del agua potable, la planta de potabilización cuenta con tanques en dos compartimentos que están contruidos en concreto reforzado sobre suelo en un volumen de 600 m<sup>3</sup> cada uno y su capacidad para el abastecimiento es de 25% del consumo diario por un periodo de seis horas. (Empopamplona E.S.P.).

### ***Producción de agua.***

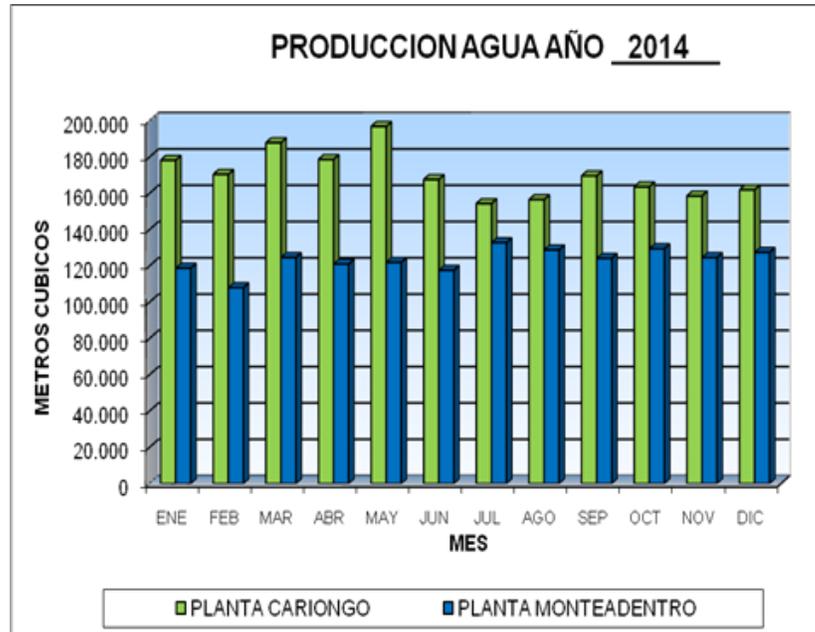
El consolidado del año muestra una producción total de **3'524.029** metros cúbicos, correspondientes a 2'044.552 metros cúbicos para la Planta Cariongo, representa el 57,97% y 1'479.477 metros cúbicos para la planta Monte dentro es decir el 44,08% de la producción, esto se traduce en un caudal promedio de 112 litros/segundo para el municipio de Pamplona, con una dotación aproximada de 160 litros/hab.día.

**Tabla 10. Producción de agua potable en 2014**

<b>MES</b>	<b>PLANTA CARIONGO</b>	<b>PLANTA MONTEADENTRO</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>M3</b>	<b>M3</b>	<b>M3</b>
<b>ENE</b>	178.273	118.780	297.053
<b>FEB</b>	170.440	108.013	278.453
<b>MAR</b>	187.884	124.681	312.565
<b>ABR</b>	178.722	121.004	299.726
<b>MAY</b>	196.870	121.993	318.863
<b>JUN</b>	167.656	117.589	285.244
<b>JUL</b>	154.397	132.815	287.212
<b>AGO</b>	156.546	128.865	285.411
<b>SEP</b>	169.655	124.175	293.831
<b>OCT</b>	163.584	129.519	293.103
<b>NOV</b>	158.558	124.574	283.133
<b>DIC</b>	161.968	127.468	289.436
<b>TOTAL</b>	<b>2.044.552</b>	<b>1.479.477</b>	<b>3.524.029</b>

Fuente: Empopamplona

Figura 7. Producción de agua potable en Empopamplona. 2014



Fuente: Empopamplona.

#### 6.1.1.6 Almacenamiento:

Una vez terminado el tratamiento el agua se deposita en 14 tanques de almacenamiento enterrados o semienterrados construidos en concreto y distribuidos para las plantas de la siguiente manera: la planta Cariongo con 5 tanques con capacidades entre 10 – 600 m<sup>3</sup>; y para la planta Monteadentro con 7 tanques con el mismo intervalo de capacidad que el anterior. También se tienen 2 tanques que son abastecidos por otra fuente diferente al sistema de acueducto, denominado el tanque de picapiedra que abastece el Barrio Animes Parte baja y Villa Cristina, con 200m<sup>3</sup> y 30m<sup>3</sup> de capacidad respectivamente.

Tabla 11. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento.

		NOMBRE DEL TANQUE	LOCALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD (M <sup>3</sup> )	BARRIOS O ZONAS QUE ABASTECE	ABASTECIDO POR
<b>DIAGNOSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>Tanque 1</b>	Tanque planta 1	Barrio Cariongo	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	600m <sup>3</sup>	Zona Baja	Planta Cariongo
	<b>Tanque 2</b>	Tanque Planta 2	Barrio Cariongo	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	600m <sup>3</sup>	Zona Intermedia	Planta Cariongo
	<b>Tanque 3</b>	Trinidad	Barrio la Trinidad	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	600m <sup>3</sup>	La trinidad, San Pedro, Escorial, Nazareth, otro.	Planta Monteadrento
	<b>Tanque 4</b>	Picapiedra	Vereda los Animes	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	600m <sup>3</sup>	Los Animes, Juan XXIII, Cristo Rey, Villa Cristina, Arenal, Simón Bolívar, U.P. otros.	Planta Monteadrento
	<b>Tanque 5</b>	Santa Marta	Santa Marta	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	400m <sup>3</sup>	Santa Marta, las margaritas, El Buque	Planta Cariongo
	<b>Tanque 6</b>	Provincial	Colegio Provincial	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	400m <sup>3</sup>	Olivos, Treces, El Carmen	Planta Cariongo
	<b>Tanque 7</b>	Los Animes	Barrio Los Animes	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	200m <sup>3</sup>	Barrio Animes parte baja	Tanque Picapiedra
	<b>Tanque 8</b>	Villa Cristiana	Barrio Simón Bolívar	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	30m <sup>3</sup>	Villa Cristina	Tanque Picapiedra

DIAGNOSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO						
	NOMBRE DEL TANQUE	LOCALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD (M <sup>3</sup> )	BARRIOS O ZONAS QUE ABASTECE	ABASTECIDO POR
Tanque 9	Jurado 1	Barrio Jurado alto	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	28m <sup>3</sup>	Jurado Alto	Planta Monte dentro
Tanque 10	Jurado 2	Barrio Progreso bajo	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	10m <sup>3</sup>	Barrio Jurado Bajo	Planta Monte dentro
Tanque 11	Progreso 1	Barrio Progreso alto	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	28m <sup>3</sup>	Barrio Progreso Alto	Planta Monte dentro
Tanque 12	Progreso 2	Barrio Progreso medio	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	10m <sup>3</sup>	Barrio Progreso bajo	Planta Monte dentro
Tanque 13	Progreso 2	Barrio Progreso bajo	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	10m <sup>3</sup>	Ninguno, alm bombeo	Planta Cariongo
Tanque 14	Cariongo	Barrio Cariongo	Rectangulares, semienterrados, en concreto y un compartimiento	32m <sup>3</sup>	Barrio Cariongo bajo	Planta Monte dentro

Fuente: EMPOPAMPLONA 2015

- **Calidad de agua en la Red:**

Según la resolución actual del 2115/07, se realizaron cambios en los puntos de muestreo para la red total, ubicando 18 puntos de muestreo distribuidos equitativamente para las dos plantas de tratamiento; 9 que se construyeron sobre la red de la Planta Cariongo y 9 sobre la red de la planta Monte dentro.

La selección de los 9 puntos de muestreo para cada planta ratifica la calidad del agua que aporta el acueducto a través de la red, confirmando que en la totalidad de los puntos se cumplen los límites admisibles exigidos por la normatividad para agua potable en Colombia.

#### 6.1.1.7 Red de distribución:

La distribución del agua tratada se encuentra distribuida en dos tipos de redes; la matriz y la secundaria.

En Pamplona el sistema de distribución se encuentra dividido por zonas. El abastecimiento de Agua Potable se realiza toda por Gravedad, se cuentan con estaciones de Bombeo que permanecen para situaciones de emergencia.

#### **Zonas de Distribución**

- ✓ Zona Baja: El centro, Plazuela Almeyda, El Topón, El Camellón, Plaza de Mercado, Santo Domingo, el Humilladero, El Hospital, Chapinero, El Carmen, Los treces, Tinto Redondo, San Agustín. Chichira, clínica, Pasaje 4 de julio, Salsamentaría, Orsua,
- ✓ Zona Intermedia: La Esperanza, Urbanización Romero, Hilda María, Barrio Afanador, Carmelitano, los sauces, el pilar, Augusto Ramírez, Las Américas, Los Pinos, Los Olivos, Galán. Centro de acopio, terminal. Salida Bucaramanga, los Alpes, Patolandia, Díaz parada, la campiña, La Fosforeria, casas fiscales, batallón, los treces, Brighthom, guamo, paso del burro, san Ignacio, buque, humilladero, arenal bajo, tinto redondo.
- ✓ Zona Alta Norte: Cristo rey, Nuevo Amanecer, Villa Cristina, Simón Bolívar, el Arenal. Jurado, Universidad de Pamplona, Juan XXIII. Mirador Cristo Rey, Brisas del Pamplonita, Sagrada Familia.
- ✓ Zona Occidental: El Guamo, Santa Marta parte baja, La Loma de la Cruz.
- ✓ Zona Alta Occidental: Santa Marta parte alta, Los Animes.
- ✓ Zona Alta Oriental: San Pedro, Cote Lamus, Barrios Unidos, el Escorial, La Trinidad, Nazarenos, Las colinas, casa de ejercicios de Nazareth.
- ✓ Zona Alta Nororiental: El progreso, el Matadero, los Garabatos.
- ✓ Zona Sur: Barrio Cariongo. Molinos del Zulia, Valle del Espíritu Santo, Romeritos, Inurbe, Villa Juliana

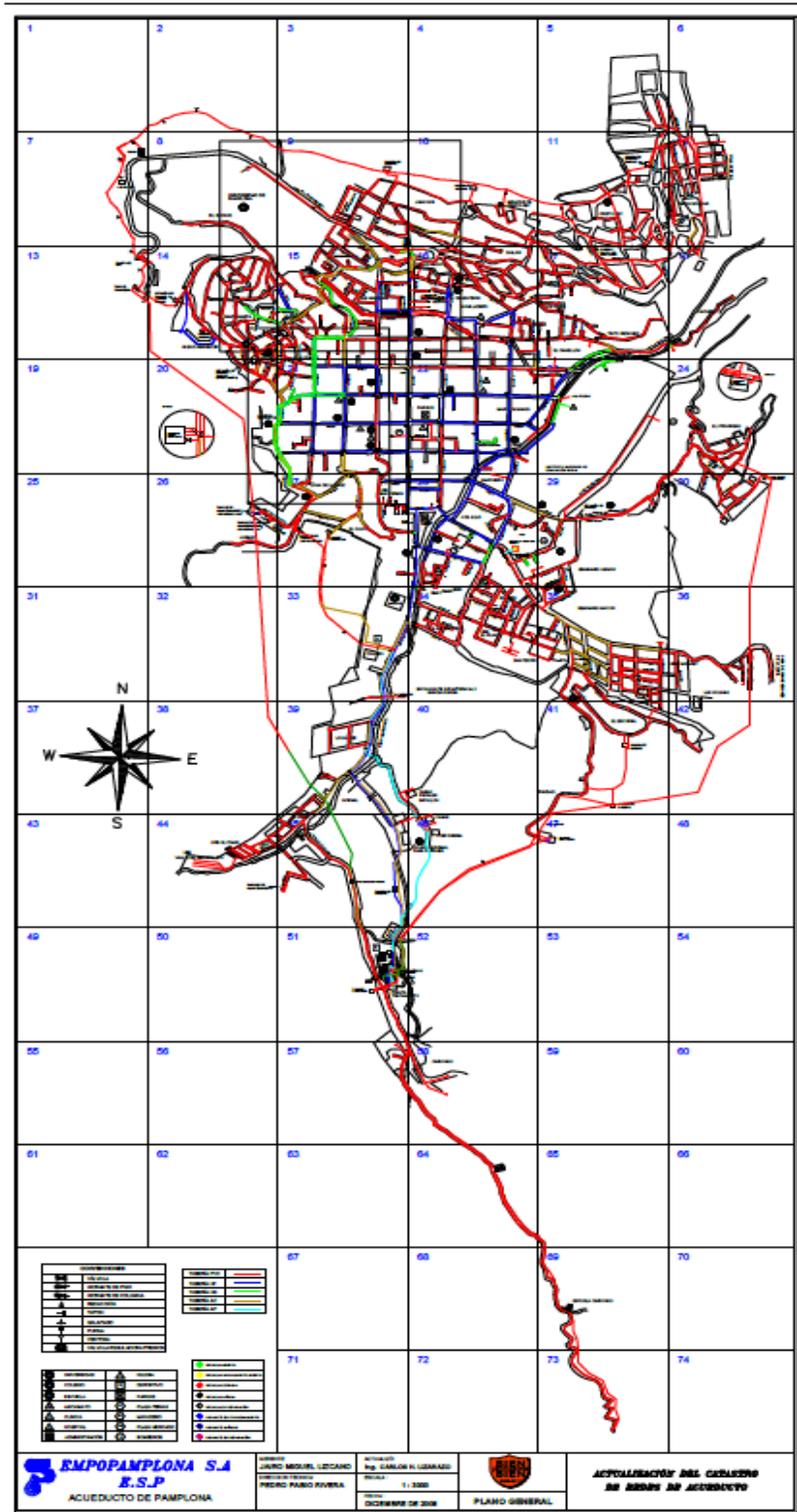
Empopamplona cuenta con 6 estaciones de bombeo con una potencia instalada de 147 Hp, las cuales funcionan solo en casos de emergencia.

Tabla 12. Diagnóstico de la red de distribución.

	DIÁMETRO (pulgadas)	MATERIAL	LONGITUD (M)	VALVULAS			HIDRANTES	
				N°	Tipo	Estado	N°	Estado
DIAGNOSTICO RAPIDO DE LA RED DE DISTRIBUICION	MATRIZ	10	PVC	14.090				
		8	PVC	4.375				
		8	AC	2.615				
		12	HF	1.810	1	Compuerta	Regular	
		10	HF	1.200	7	Compuerta	Regular	1 Regular
		8	HF	880	16	Compuerta	Regular	2 Regular
		16	A	2.340				
		4	A	770				
		3	A	2.010				
	SECUNDARIA	6	PVC	7.560				
		4	PVC	3.785				
		3	PVC	18.030				
		6	AC	530				
		4	AC	480				
		3	AC	2.250				
		6	HF	610	13	Compuerta	Regular	2 Regular
		4	HF	764	28	Compuerta	Regular	3 Regular
		3	HF	6.680	73	Compuerta	Regular	21 Regular
		2	HF		30	Compuerta	Regular	2 Regular
	2,5	PVC	1.440					
	2	PVC	27.200					
	0,5	PVC	1.980					
	1	PVC	3.020					
	2,5	HG	100					
	2	HG	1.350					
	1	HG	650					
	<b>Totales</b>		106,519	168			28	

Fuente: Visita Técnica EMPOPAMPLONA 2015

Figura 8. Plano de catastro de redes de acueducto



Fuente: Empopamplona.

## 6.2 SERVICIO DE ALCANTARILLADO.

### 6.2.1 Diagnostico del sistema de Alcantarillado del municipio de Pamplona.

Tabla 13. Identificación de los componentes del sistema de alcantarillado.

IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO		SUBSISTEMA - COMPONENTE	EXISTE (SI/ NO)	CANTID.	TIPO DE ESTRUCTURA	OBSERVACIONES
RECOLECCION Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES (A.R.)	Domiciliarias de alcantarillado	SI	13.250	Cajas y redes domiciliaria de 6"		
	Redes de recolección de aguas residuales	SI	70.796 ml	Redes de alcantarillado de diferentes diámetros y materiales.	Redes ubicadas en las vías principales y secundarias de la ciudad.	
	Interceptores	SI	1	Red de 10 a 24 pulg.	Estructuras cuya función es interceptar los vertimientos y transportar las A.R. hasta el emisario final	
	Emisario Final	SI	1	Red de 24 a 33 Pulg.	Transporta las A.R. hasta la PTAR. En construcción	
TRATAMIENTO DE AGUAS	Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR).	NO	No	No	En Proyecto.	
DISPOSICION FINAL -VERTIMIENTOS A.R	Vertimientos de aguas residuales.	SI	3	Estructuras de descarga de A.R.	El agua es vertida sin tratamiento, sobre la fuente receptora el rio Pamplonita.	

Básicamente en el municipio de Pamplona la Infraestructura del sistema de alcantarillado está compuesto por las redes de recolección y transporte. A Continuación se hace una breve descripción de estos elementos.

#### 6.2.1.1 Redes de recolección y transporte de aguas residuales de Alcantarillado

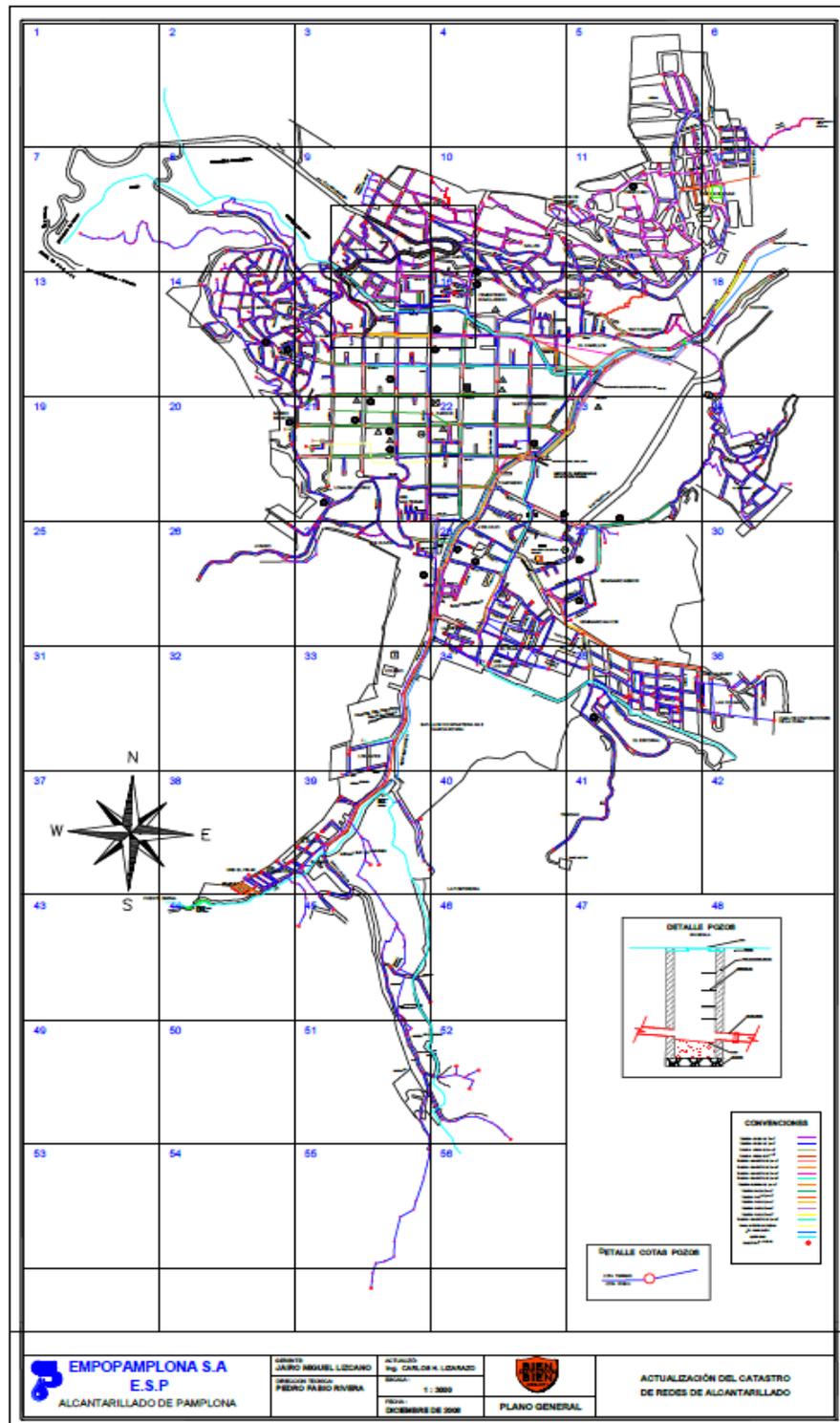
La composición del alcantarillado municipal, en cuanto a colectores, puede ser extraída del catastro de redes y se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Diagnostico red de recolección y transporte de aguas residuales.

Material	Diámetro( Pulgadas)	Longitud ( m )	Porcentaje ( % )
Gres	6"	6.934	9,79%
Gres	8"	49.826	70,38%
Gres	10"	2.289	3,23%
Gres	12"	1.822	2,57%
Pvc fort.	8"	816	1,15%
Concreto.	16"	1.785	2,52%
Concreto.	20"	778	1,10%
Concreto.	30"	2.127	3,00%
Box Couvert	0,5 *0,5<d < 1 *1,5	3.369	4,76%
B. C. Río Chiquito	d > 1 *1,5	1.050	1,48%
<b>Total</b>		<b>70.796</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Empopamplona

Figura 9. Plano de catastro de redes de Alcantarillado Pamplona.



Fuente: Empopamplona

## 6.2.2 Calidad de las aguas residuales del Municipio de Pamplona.

A partir de la caracterización de los vertimientos de las aguas residuales del municipio de Pamplona, realizada en diciembre de 2014, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 15. Resultados caracterización de vertimientos en Pamplona 2014**

Punto de muestreo	Población aferente	Caudal promedio (L/s)	DBO (kg/día)	SST (kg/día)	Carga percapita DBO <sub>5</sub> (Kg/hab. Día)	Carga percapita SST (Kg/hab. Día)
Río Chiquito	26948.5	29,831	859,59	486,95	0,0318975	0,0180696
Emisario Final	26948.5	46,421	1662,87	1030,45	0,0617055	0,0382377
<b>TOTAL</b>	<b>53897</b>	76.252	<b>2522,46</b>	<b>1517,4</b>		
<b>Promedio</b>					0.0468015	0.02815365
<b>Total MES kg/mes</b>			<b>75673,8</b>	<b>45522</b>		

Fuente: Empopamplona.

Al municipio no contar con planta de tratamiento de aguas residuales, estas son vertidas directamente sobre el río Pamplonita, causando un gran impacto ambiental en la calidad de las aguas de esta fuente, el vertimiento anual de aguas residuales fue de 2'404.620 m<sup>3</sup>/año en 2014.

## 6.3 SERVICIO DE ASEO

El servicio de aseo suministrado por Empopamplona está compuesto por los componentes de: recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos en el Relleno Sanitario Regional La Cortada, también se realiza actividades complementarias como Corte de Césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, además de lavado de áreas especiales para eventos públicos.

### 6.3.1 Diagnóstico del servicio de Aseo del municipio de Pamplona.

A continuación se presenta de forma general los procesos que se desarrollan en la prestación del servicio público de aseo.

Tabla 16. Diagnóstico del servicio de aseo.

		SUBSISTEMA - COMPONENTE	EXISTE (SI/ NO)	OBSERVACIONES
IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	SUBSISTEMAS	Recolección y Transporte de RSU.	SI	Se presta el servicio con cobertura del 95% frecuencia de 3 veces por semana.
		Barrido y limpieza de calles y Áreas publicas	SI	Se presta el servicio con 33 escobitas, frecuencia entre 2 y 7 veces por semana.
		Mantenimiento de parques	SI	Se atienden todos los parques de la ciudad.
		Aprovechamiento	SI	Existe una planta pero solo funciona al 10% de su capacidad.
		Disposición Final	SI	La Disposición final se realiza en el relleno sanitario regional La Cortada, que sirve a 8 municipios.

Fuente: Empopamplona.

A continuación se describen cada uno de los procesos del servicio de aseo.

#### 6.3.1.1 Recolección y Transporte.

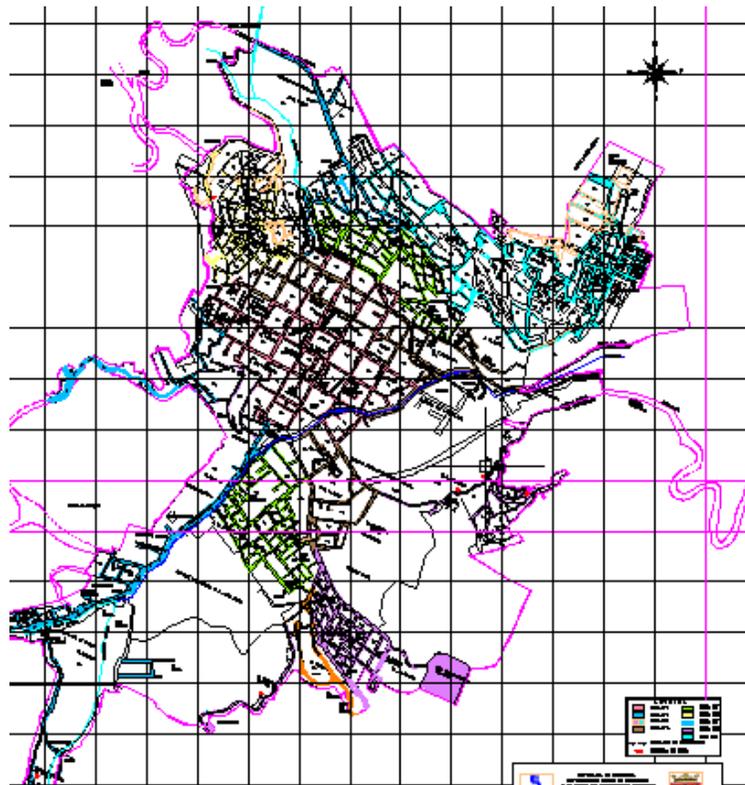
Esta actividad es realizada cumpliendo las 9 rutas de recolección y transporte, estas rutas fueron modificadas en su horario de ejecución, es decir pasaron a ser ejecutadas en la jornada nocturna reemplazándola por la jornada de la mañana, reduciendo los impactos, en especial la ralentización del tráfico y el aumento del ruido por parte de automotores, generando puntos positivos en la noche como una mayor presentación de residuos residenciales, esto sin alterar la zona céntrica comercial ya que se continuo con la misma ruta de turno sin cambiar su horario antiguo.

Esta actividad se realiza con frecuencia de 5 a 3 veces por semana, para la recolección se requiere de una maquinaria los cuales poseen unas características para esta labor, Empopamplona cuenta con cuatro vehículos compactadores (dos nuevos y dos antiguos), uno en stanby. A continuación se darán las generalidades de los vehículos:

<b>AÑO</b>	<b>2012</b>
MODELO	R2-2000
FABRICANTE	CHEVROLET
CLASE DE VEHICULO	CAMION
TIPO DE SERVICIO	OFICIAL
COLOR	BLANCO ARCO
COMBUSTIBLE	DIESEL
PLACA	OWG882
CONDICIÓN OPERARIA	ACTIVO
CANTIDAD	DOS

<b>AÑO</b>	<b>1988</b>
MODELO	C-70
FABRICANTE	CHEVROLET
CLASE DE VEHICULO	CAMION
TIPO DE SERVICIO	OFICIAL
COLOR	AZUL
COMBUSTIBLE	DIESEL
PLACA	OWG7526
CONDICIÓN OPERARIA	ACTIVO
CANTIDAD	DOS

**Figura 10. Rutas de recolección de RSU en Pamplona.**



Fuente: Empopamplona 2015.

### **6.3.1.2 Barrido y limpieza de vías y áreas públicas**

Las labores de barrido y limpieza de vías y áreas públicas son realizadas diariamente por un personal total de 26 escobitas, las cuales tiene como referencia cumplir con las 17 rutas de barrido y limpiezas descritas en el Anexo número dos “Rutas de Barrido de Escobitas), esta rutas fueron elaboradas tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Definición planimetría de la ciudad de Pamplona y la cantidad de residuos generales por subdivisiones de las áreas de uso comercial, residencial.
- Asignación a cada micro para su barrido continuo sin dejar zonas muertas y verificar el estado de la calle (pavimentada o sin pavimentar).
- Evaluar la frecuencia de recolección, transito real y futuro, minimizarse los tiempos muertos y recorridos improductivos, en la zonas de topografía ondulada, la recolección debe empezar en la parte más alta hasta llegar al sitio para ser recogidos por los vehículos compactadores.

**Figura 11. Rutas de Barrido en Pamplona.**



### **6.3.1.3** Mantenimiento de parques y áreas verdes.

La actividad de Poda es realizada en los parques y áreas verdes más representativas de la ciudad de Pamplona se lleva a cabo con una frecuencia de dos veces por mes, en donde se utiliza una cuadrilla de 2 a 5 auxiliares según el área a intervenir, en la actividad de poda de árboles o arbustos se evalúa el poco espacio que tiene la planta para su desarrollo, el tamaño del tronco, su vitalidad, la interferencia en construcciones, redes de acueducto y alcantarillado, líneas de transmisión y distribución de energía y telecomunicaciones con el fin de determinar la mejor alternativa en el procedimiento.

La poda de césped realizada por el guadañador y dos auxiliares se realiza con las medidas de seguridad descritas en la normatividad vigente, en este procedimiento se debe tener cuidado de afectar el tronco del árbol, ya que pueden anillarlo o cortarlo abriendo la puerta para un patógeno o enfermedad.

### **6.3.1.4** Aprovechamiento de RSU.

El Municipio de Pamplona, cuenta con una planta de aprovechamiento regional de residuos inorgánicos. Esta planta actualmente se encuentra operando aun 10% de su capacidad, debido a que hace falta más dotación en maquinaria como lavadoras de plástico, picadoras de vidrio etc.

Se espera contar con la dotación de maquinaria y la estructuración empresarial que permita poner en funcionamiento en un 100% de su capacidad y dar una opción real de reubicación laboral a los grupos de recuperadores de la ciudad.

### **6.3.1.5** Disposición Final.

La disposición final de los residuos generados por la ciudad de Pamplona se depositan en el relleno Sanitario Regional de Pamplona, todas las actividades para la operación y manejo técnico del relleno sanitario se programan semanalmente y se registran en un formato del SGC llamado “Actividades semanales”, las actividades más relevantes en cuanto a la actividad de disposición final se refieren se presenta a continuación:

- *Adecuación de la Celda*

La adecuación de la celda es ejecutada de acuerdo a las actividades contenidas en el Plan de Manejo Ambiental, Relleno Sanitario de Pamplona “La Cortada” como lo es la profundidad de la celda, inclinación, ubicación de filtros y chimeneas, entre otros puntos vitales en el manejo de los residuos sólidos.

- *Recepción de los Residuos Sólidos*

Esta actividad inicia con el ingreso del vehículo recolector a las instalaciones físicas del relleno sanitario regional donde el personal de entrada diligencia un formato y el Supervisor indica la posición y ubicación del descargue de los residuos sólidos, posteriormente el vehículo recolector se dirige a la salida del relleno y hace una parada junto a la caseta, donde la persona encargada registra la información en los formatos con la firma respectiva del conductor del vehículo recolector concluyendo la actividad.

En 2014 se recibió la siguiente cantidad de residuos sólidos en el relleno sanitario la Cortada.

Tabla 17. Disposición de RSU en 2014 en el Relleno La Cortada.

<b>MES</b>	<b>RSU dispuestos ( ton/mes)</b>
<b>ENERO</b>	1056.3
<b>FEBRERO</b>	928.3
<b>MARZO</b>	1050.0
<b>ABRIL</b>	1049.0
<b>MAYO</b>	1091.9
<b>JUNIO</b>	1038.0
<b>JULIO</b>	1045.9
<b>AGOSTO</b>	1004.6
<b>SEPTIEMBRE</b>	1047.3
<b>OCTUBRE</b>	1079.7
<b>NOVIEMBRE</b>	1009.4
<b>DICIEMBRE</b>	1223.8
<b>TOTAL</b>	12624.16

Fuente: Empopamplona.

- *Traslado y Compactación de los residuos sólidos*

Después de ser depositado los residuos en el patio (zona estable para el descargue) a continuación el Buldócer procede al traslado o arrastre de estos residuos a la celda que en ese momento se encuentre en funcionamiento, posterior a esta actividad el buldócer acomoda estos residuos de tal forma que cumpla con las especificaciones del diseño generando con la maquina una compactación uniforme a los residuos dispuestos, aumentando la capacidad y la estabilidad de la celda.

- *Cubrimiento de los residuos sólidos*

Esta actividad se realizada diariamente en la cual consiste en la cobertura temporal del frente de la celda a trabajar con materiales de cubrimiento como lo son una capa de geotextil, capa de plástico o en su defecto material de escombro como última opción, esto con el fin de minimizar el impacto visual, propagación de vectores y proliferación de olores ofensivos, además de aislar el contacto de aguas lluvias con el fin de evitar el aumento de lixiviados.

- *Manejo de Lixiviados*

Los líquidos lixiviados, producto de la descomposición de los Residuos Sólidos Urbanos, son drenados a través de los filtros a un tanque de recepción, que almacena temporalmente los mismo, en el mismo tanque se le realiza un pre tratamiento y sedimentación de lodos y posteriormente se realiza recirculación de los mismos, mediante un sistema modular de riego (por aspersion) sobre las celdas clausuradas, para reducir la cantidad o volumen de los líquidos.

- *Tareas de Cierre de la Celda*

Para la clausura de celdas, se le agregará una capa final de 40 cm. de espesor de material de cobertura y se compactará, se agrega una capa de arcilla compactada para lograr su impermeabilización. Posteriormente se siembra vegetación para proteger la superficie.

## 7 MARCO LEGAL

Con el fin de articular la legislación nacional vigente con los aspectos y/o impactos que se desean evaluar tanto en la fase de diagnóstico como en la fase de desarrollo del Plan de Manejo Ambiental, se presentan las leyes, decretos y normas inherentes a la realización del presente documento.

DECRETO 2811 DE 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

DECRETO 2858 DE 1981. Por el cual se reglamentan los permisos de aprovechamiento de agua.

DECRETO 02 DE 1982. Por el cual se reglamentan parcialmente en cuanto a emisiones atmosféricas se refiere.

DECRETO 2340 DE 1984. Por el cual se aclara el decreto 1594 del 26 de junio de 1984 en cuanto a uso del agua y residuos líquidos.

LEY 09 DE 1989. Código Sanitario Nacional.

LEY 79 DE 1989 Por la cual se prevé a la conservación de agua y se dictan otras disposiciones.

LEY 30 DE 1992 por el cual se organiza el servicio público de la Educación Superior.

LEY 99 DE 1993 Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

LEY 55 DE 1993. Por medio de la cual se aprueba el "Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la utilización de los Productos Químicos en el trabajo", adoptados por la 77a. Reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra, 1990.

LEY 142 DE 1994 Reglamenta la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Decreto 2104 de 1983 del Ministerio de Salud sobre disposiciones sanitarias de basuras.

DECRETO 2107 DE 1997. Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto

948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

LEY 373 DE 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

LEY 430 DE 1998. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN 1096 DE 2000. Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector Agua Potable y Saneamiento Básicos – RAS.

LEY 697 DE 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

DECRETO 1713 DE 2002 Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

DECRETO 3100 DE 2003. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.

RESOLUCIÓN 601 DE 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

DECRETO 2501 DE 2007. Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica.

RESOLUCION 2115 DE 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

DECRETO 2667 DE 2012. MADS, Reglamenta la tasa retributiva, y la actualización del PSMV.

DECRETO 0953 DE 2013, MADT, Por el cual se reglamenta el artículo 111, de la Ley 93, respecto a la Adquisición de Áreas Estratégicas y Servicios Ambientales.

DECRETO 2981 DE 2013 MVDT, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.

DECRETO 1077 DE 2015 MVCT, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector Vivienda, Ciudad y territorio, CAPITULO 3. Servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.

## 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 8.1 RESULTADOS DEL IMPACTO AMBIENTAL.

Utilizando el LCA Manager se obtuvieron los siguientes resultados analizados por cada uno de los servicios.

#### 8.1.1 Resultados de Impacto ambiental en el servicio de acueducto.

Los resultados obtenidos para el servicio de acueducto se muestran en la siguiente tabla.

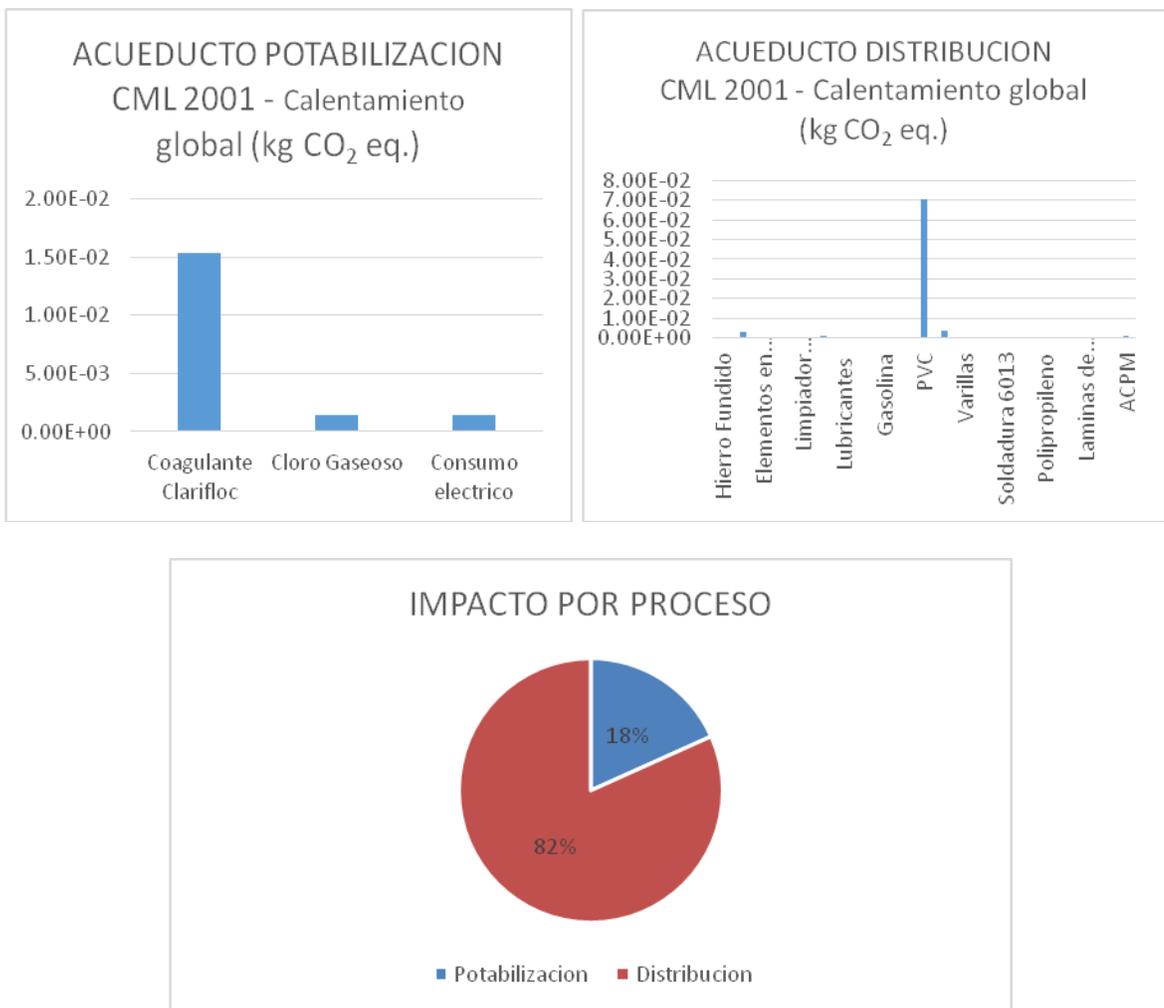
Tabla 18. Resultados de impacto ambiental acueducto.

SERVICIO	PROCESO	INSUMO O FLUJO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq.) / U.F.		
			Valor por insumo/ flujo (kg CO <sub>2</sub> eq.)	Total por proceso (kg CO <sub>2</sub> eq.)	Total por servicio (kg CO <sub>2</sub> eq.)
ACUEDUCTO	POTABILIZACION	Coagulante Clarifloc	1,53E-02	1,81E-02	9,92E-02
		Cloro Gaseoso	1,43E-03		
		Consumo eléctrico	1,38E-03		
	DISTRIBUCION	Hierro Fundido	7,22E-04	8,11E-02	
		Cemento	2,98E-03		
		Elementos en Cobre	1,24E-04		
		Adhesivo	2,09E-05		
		Limpiador para PVC	1,23E-05		
		Triturado y Grava	1,25E-03		
		Lubricantes	2,81E-07		
		Pintura	1,56E-04		
		Gasolina	9,21E-07		
		Lentes de Seguridad	1,79E-06		
		PVC	7,03E-02		
		Arena Lavada	3,81E-03		
		Varillas	1,78E-05		

Teflon	2,50E-04
Soldadura 6013	3,12E-06
Polietileno	2,16E-05
Polipropileno	1,47E-07
Acero	6,24E-06
Laminas de acero	1,82E-06
Alambre	6,15E-05
ACPM	1,36E-03

Fuente: Autor - LCManager v1.3

Grafica 1. Resultados de impacto ambiental acueducto.

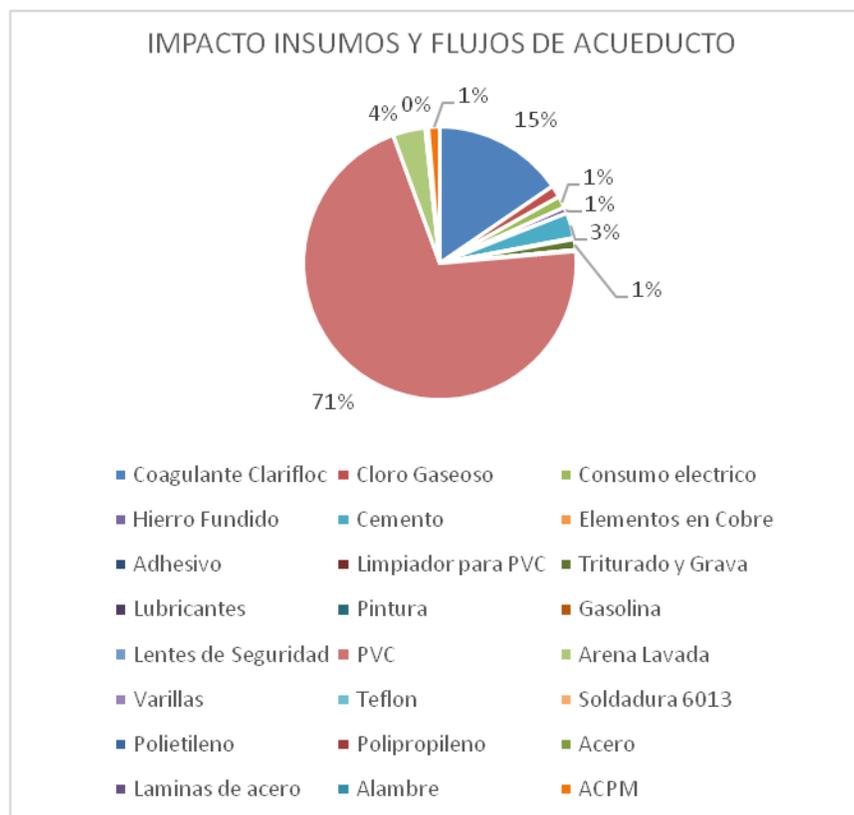


El servicio de Acueducto generó en el año 2014 un total del 9.92 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>, de estos el proceso que más impacto GWP es la Distribución de agua potable con 8.11 E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> correspondiente al 82%, la potabilización tienen un efecto

1.81 E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> correspondiente al 18%. Lo anterior se puede explicar en la gran cantidad de insumos utilizados en la distribución ya que este proceso incluye la construcción y reposición de redes de acueducto, atención de daños de redes, instalación de acometidas nuevas etc.

Del análisis por insumos o elementos utilizados en acueducto se obtuvo lo siguiente:

Grafica 2. Resultados por insumos Acueducto.



El elemento de mayor impacto GWP en el servicio de acueducto es el PVC con una generación 7.03E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> que representa el 71%, esto se debe principalmente a que la mayoría de insumos utilizados en acueducto son de este material. El PVC está elaborado a base de derivados del petróleo que implican diferentes procesos muy industrializados con altos consumos de energía y generación de gases GEI. A pesar de lo anterior el PVC es el material más usado en los sistemas de distribución de agua potable por sus ventajas constructivas y especialmente por la seguridad sanitaria.

El siguiente elemento de mayor impacto GWP es el coagulante Clarifloc con 1.53 E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> que representa un 15%. El Clarifloc es un producto sintético,

de fabricación industrializada. El uso de esta sustancia se ha justificado en su eficiencia en la potabilización, la reducción de costos de operación, compra de insumos y en la baja generación de lodos, ya que por ser una sustancia líquida genera un poco de residuo en comparación con otras sustancias sólidas más tradicionales como el alambre.

Le sigue en importancia de Impacto GWP los materiales de construcción como el cemento, gravas y arena con generación de 6.79 E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> que representa el 7%. Estos insumos son básicos en la ejecución de las obras de acueducto y que para su fabricación requieren altos consumos de energía y materias primas. Su consumo depende del número de obras que se ejecuten y no hay muchas opciones para utilizar otro tipo de materiales para sustituirlos.

### 8.1.2 Resultados de Impacto ambiental en el servicio de alcantarillado.

Los resultados obtenidos para el servicio de alcantarillado se muestran en la siguiente tabla.

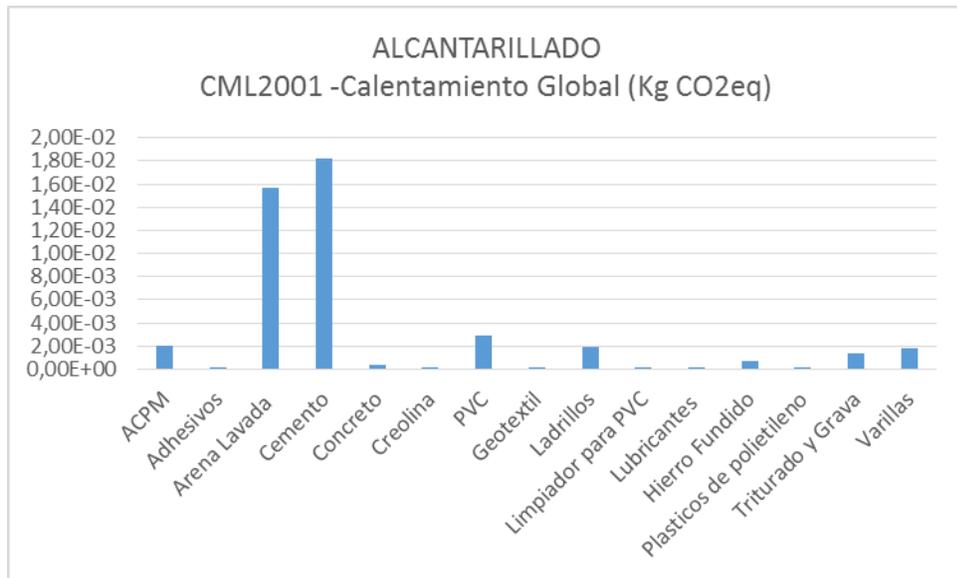
Tabla 19. Resultados de impacto ambiental alcantarillado.

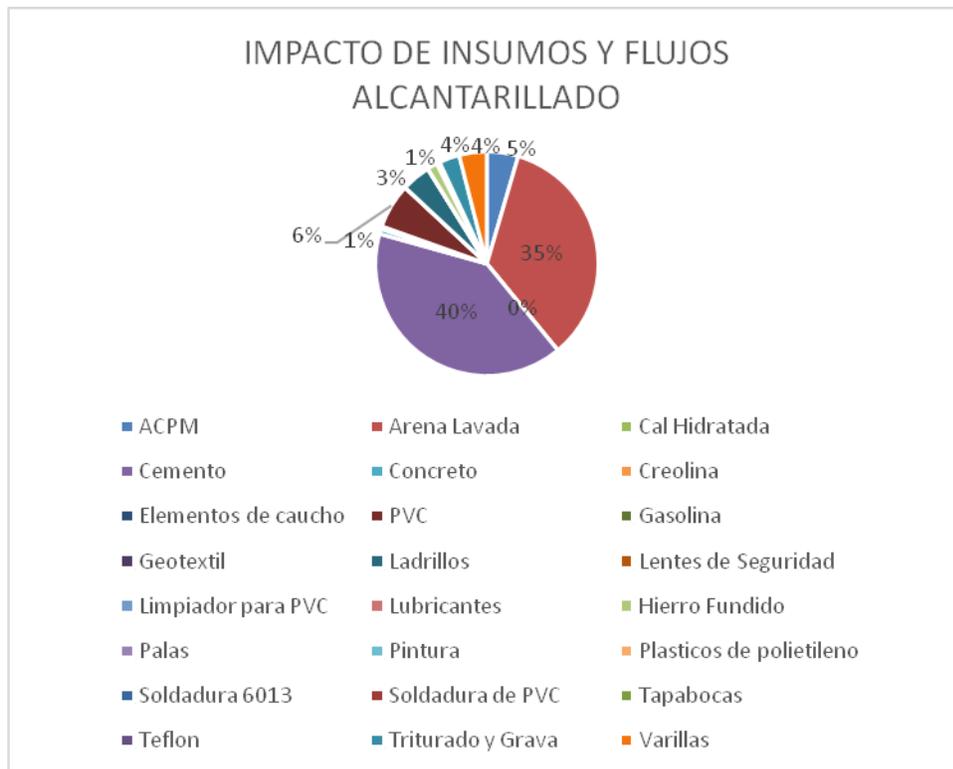
SERVICIO	COMPONENTE	INSUMO O FLUJO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq.) /U.F.		
			Valor por insumo/ flujo (kg CO <sub>2</sub> eq.)	Total por proceso (kg CO <sub>2</sub> eq.)	Total por servicio (kg CO <sub>2</sub> eq.)
ALCANTARILLADO	RECOLECCION, TRANSPORTE Y VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	ACPM	2,04E-03	4,54E-02	4,54E-02
		Adhesivos	1,41E-04		
		Alambre	7,66E-06		
		Arena Lavada	1,56E-02		
		Anticorrosivo	6,07E-08		
		Cal Hidratada	1,70E-06		
		Cemento	1,82E-02		
		Concreto	3,32E-04		
		Creolina	1,20E-04		
		Elementos de caucho	5,70E-05		
		PVC	2,93E-03		
		Gasolina	7,46E-06		
		Geotextil	9,95E-06		
		Hoja de segueta	1,07E-06		
		Ladrillos	1,88E-03		
		Lentes de Seguridad	4,72E-06		
		Limpiador para PVC	1,31E-06		

Lubricantes	7,40E-06
Manguera PF	9,72E-07
Elemwntos en Cobre	1,86E-06
Hierro Fundido	6,55E-04
Palas	7,87E-05
Pintura	1,27E-05
Plasticos de polietileno	9,42E-05
Soldadura 6013	2,58E-06
Soldadura de PVC	9,48E-07
Tapabocas	1,05E-06
Teflon	2,48E-05
Triturado y Grava	1,33E-03
Varillas	1,80E-03

Fuente: Autor - LCAManager v1.3

Grafica 3. Resultados de impacto ambiental alcantarillado.





Fuente: El autor.

El servicio de Alcantarillado generó en el año 2014 un total del 4.54 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>, los elementos de mayor impacto GWP en alcantarillado son los materiales de construcción como el cemento, arena, gravas y PVC, en ese orden, con una generación de 3.38 E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> que representan el 78%. Insumos de gran consumo en las obras de alcantarillado y que para su fabricación requieren altos consumos de energía y materias primas. Su consumo depende del número de obras que se ejecuten.

Vale la pena reiterar que no se evaluó tratamiento porque Pamplona no posee planta de tratamiento de aguas residuales.

### 8.1.3 Resultados de Impacto ambiental en el servicio de Aseo.

Los resultados obtenidos para el servicio de alcantarillado se muestran en la siguiente tabla.

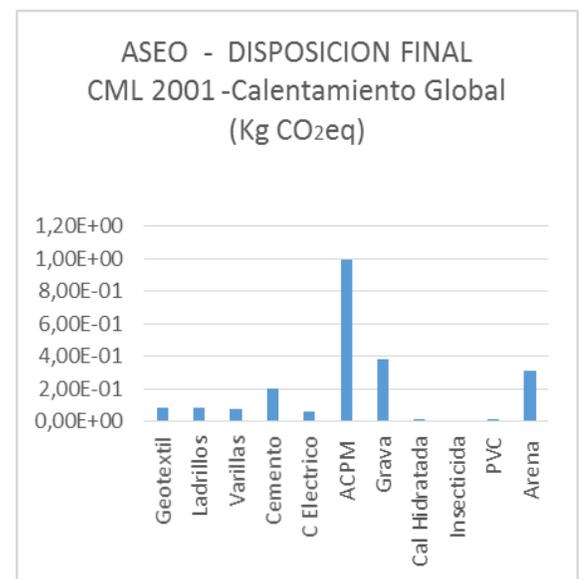
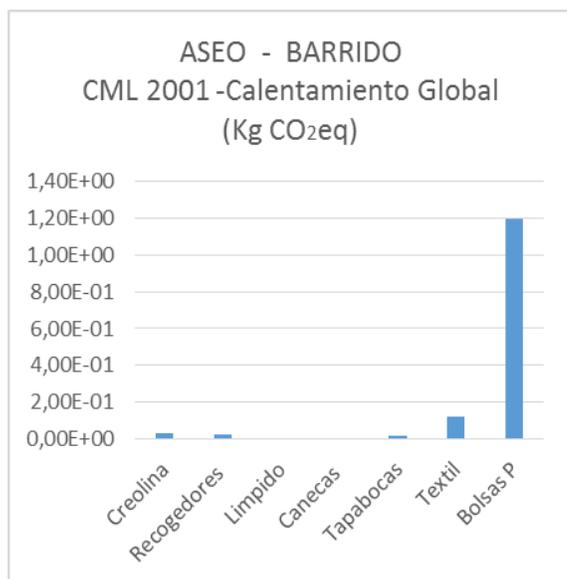
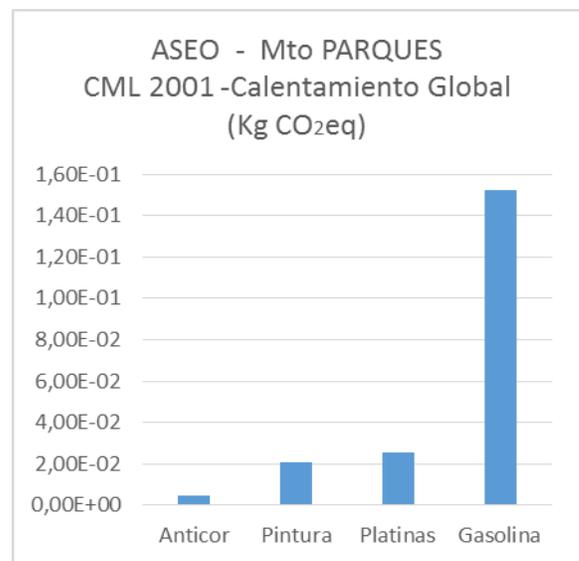
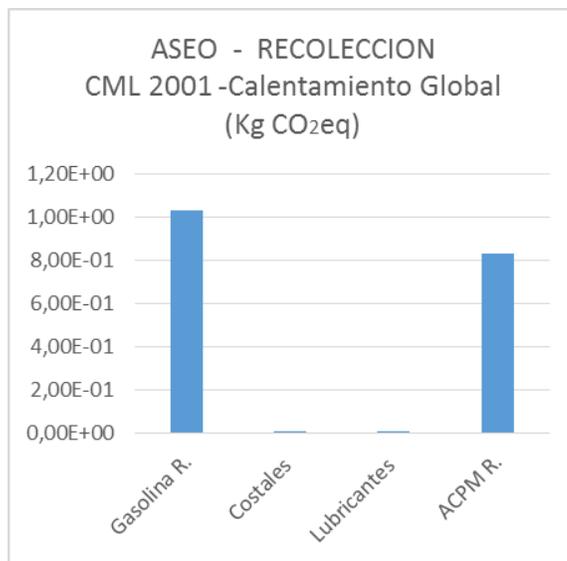
Tabla 20. Resultados de impacto ambiental Aseo.

SERVICIO	COMPONENTE	INSUMO O FLUJO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq.)		
			Valor por insumo/ flujo (kg CO <sub>2</sub> eq)	Total por proceso (kg CO <sub>2</sub> eq)	Total por servicio (kg CO <sub>2</sub> eq.)
SERVICIO DE ASEO	RECOLECCION Y TRANSPORTE	Gasolina en Recolección	1,03E+00	1,86E+00	5,87E+00
		Costales de Fibra Blancos	7,64E-04		
		Lubricantes	7,00E-04		
		ACPM Recolección y Transporte	8,29E-01		
	MANTENIMIENTO DE PARQUES	Anticorrosivo	4,62E-03	2,03E-01	
		Pintura	2,08E-02		
		Soldadura 6013	1,79E-04		
		Platinas	2,57E-02		
	BARRIDO DE CALLES	Gasolina	1,52E-01	1,52E+00	
		Creolina	3,04E-02		
		Esobas Industriales	6,55E-03		
		Recogedores	2,39E-02		
		Jabon en Polvo	9,77E-02		
		Limpido	1,26E-03		
		Canecas de barrido	8,40E-03		
		Tapabocas	1,91E-02		
		Textil	1,24E-01		
		Caucho natural	1,37E-02		
		Bolsas Polietileno	1,20E+00		
	DISPOSICION FINAL	<i>Geotextil</i>	8,54E-02	2,28E+00	
		<i>Ladrillos</i>	8,59E-02		
		<i>Varillas</i>	7,77E-02		
		<i>Acero de Construccion</i>	8,29E-03		
		<i>Hierro Fundido</i>	2,93E-02		
		<i>Cemento</i>	2,05E-01		
		<i>Consumo Electrico</i>	5,93E-02		
		<i>ACPM Buldocer</i>	9,97E-01		
<i>Triturado y Grava</i>		3,80E-01			
<i>Acido muriatico</i>		1,10E-05			
<i>Cal Hidratada</i>		1,04E-02			
<i>Insecticida</i>		3,09E-03			
<i>Lentes de Seguridad</i>		2,50E-04			

<i>Malla verde</i>	3,27E-03
<i>PVC</i>	1,04E-02
<i>Llantas para carretilla</i>	2,13E-03
<i>Arena Lavada</i>	3,10E-01
<i>Hoja de segueta</i>	3,00E-05
<i>Palas</i>	8,53E-04
<i>Soldadura PVC</i>	1,38E-04
<i>Alambre</i>	1,20E-02

Fuente: Autor - LCManager v1.3

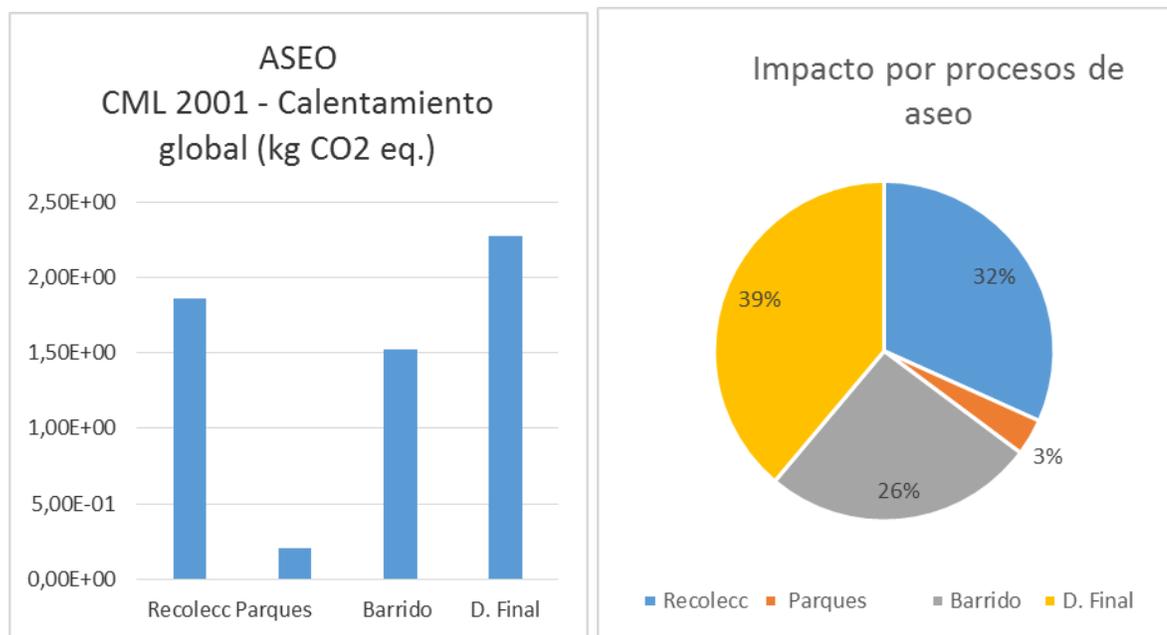
Grafica 4. Resultados de impacto ambiental aseo.



La Operación del año 2014 del servicio de aseo tiene una generación de 5.87 E+00 kg CO<sub>2</sub>eq/ton, Los elementos de mayor Impacto GWP por componente de aseo son: En recolección y transporte de RSU, el consumo de combustibles gasolina y ACPM, en mantenimiento de parques, el consumo de combustibles, en barrido de calles: el consumo de bolsas y en disposición final, el consumo de combustibles ACPM y los materiales de construcción.

De la evaluación por proceso tenemos:

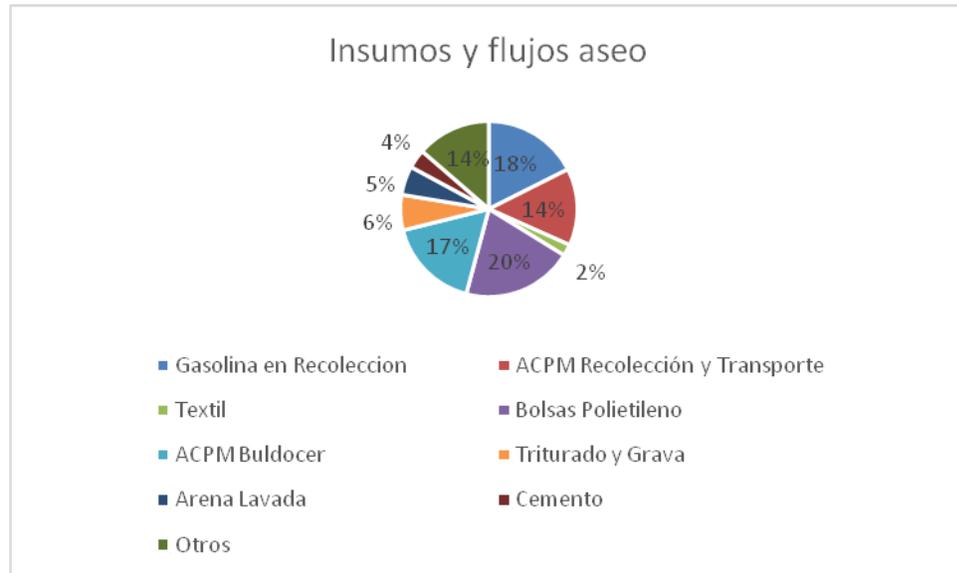
Grafica 5. Comparativo de resultados de I.A. por proceso aseo.



Fuente: El Autor.

Comparando los procesos del servicio de aseo, se obtuvo que el proceso de mayor impacto GWP es la disposición final con 2.28 E+00 kg CO<sub>2</sub>eq/ton, equivalente al 39%; le sigue el proceso de recolección y transporte con 1.86 E+00 kg CO<sub>2</sub>eq/ton, equivalente al 32%; el barrido de calles contribuye con 1.52 E+00 kg CO<sub>2</sub>eq/ton, equivalente al 26%; y el de menor impacto es el de mantenimiento de parques con 2.03 E-01 kg CO<sub>2</sub>eq/ton, que representa el 3%.

Grafica 6. Resultados de impacto ambiental aseo por insumos.



Fuente: El Autor

De la gráfica anterior tenemos que los elementos de mayor impacto GWP en el servicio de aseo son: las bolsas de polietileno con  $1.20 \text{ E}+00 \text{ kg CO}_2\text{eq/ton}$  equivalente al 20%; El consumo de combustible ACPM en el relleno sanitario con  $9.97 \text{ E}-01 \text{ kg CO}_2\text{eq/ton}$ , equivalente al 17%; el consumo de combustible en recolección: la gasolina corresponde a  $1.03 \text{ E}+00 \text{ kg CO}_2\text{eq/ton}$  es decir el 18% y el ACPM corresponde a  $8.29 \text{ E}-01 \text{ kg CO}_2\text{eq/ton}$ , correspondiente al 14%

De estos datos vale la pena resaltar que las bolsas de polietileno usadas en el barrido son la de mayor impacto de todo el servicio de aseo incluso por encima del consumo de combustibles, esto se debe al alto consumo de este elemento cerca de 60.000 unidades en el año, los elementos a partir del polietileno generan altos niveles de GEI. La reducción del consumo de bolsas plásticas en el barrido o su sustitución por otro elemento debe ser prioridad para la Empresa.

Otro elemento que llama la atención es que un solo vehículo de recolección que funciona con gasolina, genera mayor impacto que dos vehículos de recolección que trabajan con ACPM. La sustitución del vehículo de gasolina debe ser otra de las prioridades de la Empresa.

#### 8.1.4 Comparación por servicios.

A continuación mostramos una breve comparación entre los servicios de los resultados de Impacto ambiental.

Para realizar la comparación entre servicios es necesario dejar cada uno de los resultados finales en las mismas unidades, es decir Kg de CO<sub>2</sub> eq, por lo cual se debe multiplicar por la cantidad de unidades producidas en 2014 en términos de la unidad funcional de cada uno de ellos así:

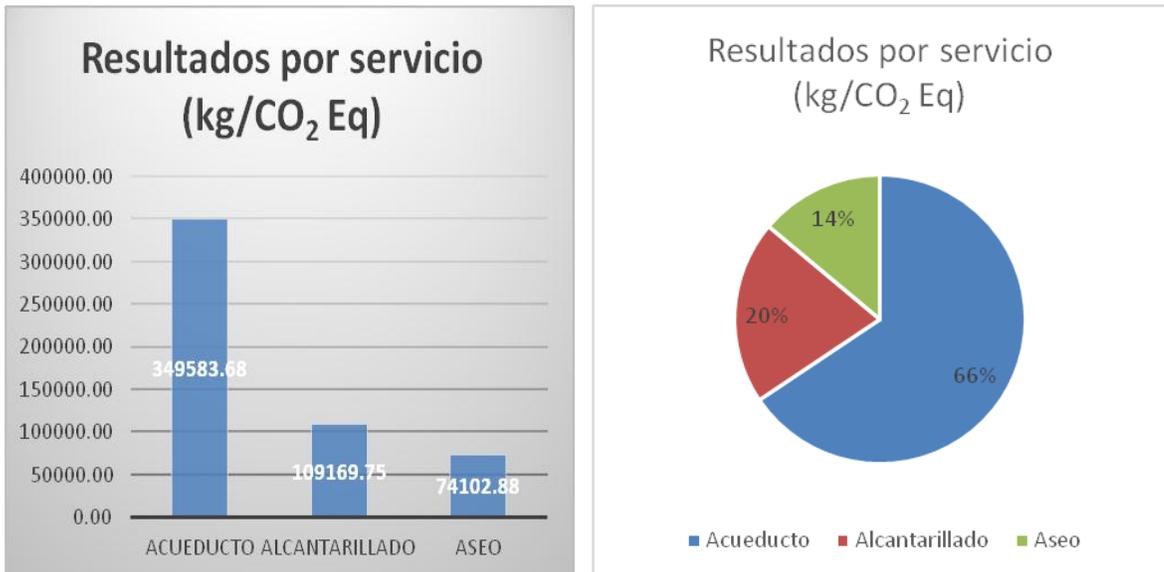
Tabla 21. Resultados de impacto ambiental global por servicio.

SERVICIO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq / Unidad funcional)	Unidad Funcional U.F.	Unidades producidas de m <sup>3</sup> de agua y Ton de RSU. en 2014	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq )
Acueducto	9,92E-02	m <sup>3</sup>	3.524.029,00	349.583,68
Alcantarillado	4,54E-02	m <sup>3</sup>	2.404.620,00	109.169,75
Aseo	5,87E+00	Ton	12.624,00	74.102,88
<b>Total</b>				<b>532.856,31</b>

Fuente: Autor.

La presente comparación se realiza analizando la operación de los tres servicios durante un año, sin incluir la generación de gases por descomposición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario la Cortada, ítem que se evaluara en el siguiente numeral.

Grafica 7. Comparativo de resultados de impacto ambiental por servicio.



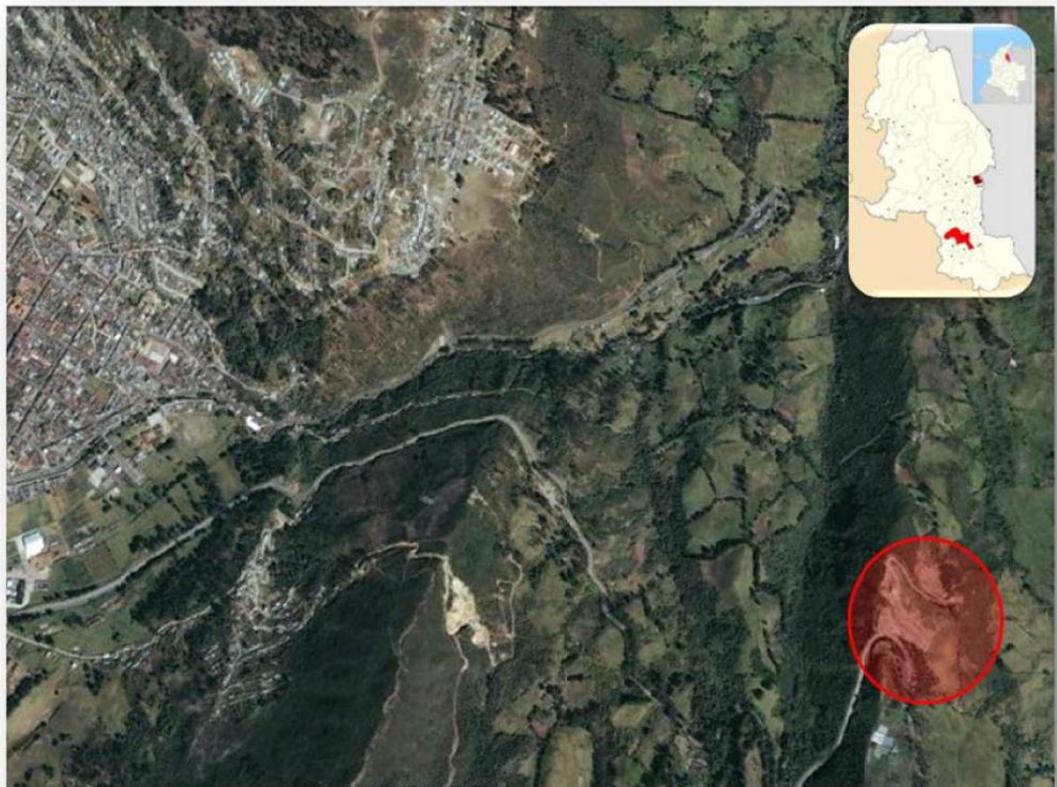
En total la operación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en Pamplona, durante el año 2014, se generaron 532.856, 31 KgCO<sub>2</sub>eq (532,85 tCO<sub>2</sub>eq). De los cuales el acueducto genero 349.583,68 KgCO<sub>2</sub>eq (66%), el alcantarillado 109.169,75 KgCO<sub>2</sub>eq (20%) y el aseo 74.102,88 KgCO<sub>2</sub>eq (14%).

### 8.1.5 Emisión de GEI en el relleno sanitario La Cortada.

La emisión de gases de efecto invernadero producto de la descomposición de residuos sólidos en el relleno sanitario La Cortada, se ha evaluado de manera independiente al servicio de aseo. Esto con el fin de darle un manejo diferencial al impacto que pueda darse por la emisión de gases como el metano.

Los cálculos que se presentan a continuación fueron suministrados por Empopamplona, a partir de los estudios técnicos realizado para elaborar el diseño y posterior construcción del relleno sanitario regional La cortada de Pamplona.

Fig. 12 Localización relleno sanitario de Pamplona



Localización Relleno Sanitario Regional “La Cortada” – Municipio de Pamplona  
Fuente: Empopamplona.

➤ Cálculo de la Emisión de gases en La Cortada.

Para el cálculo de la cantidad de gases que se emitirán durante el proceso de confinamiento y degradación de los residuos se utiliza el Método de Tchobanoglous-Theisen- Vigil. Se emplea el análisis físico químico de la caracterización contenida en el estudio del diseño original y el resto de cálculos se realizan de forma automatizada, para finalmente obtener la cantidad de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y otros gases generados en el 2014.

Tabla 22. Análisis químico de los residuos sólidos en Pamplona

Material	Peso %	Humedad %	peso Residuo (kg/día)	Peso Seco (kg/día)	C	H	O	N	S	Ceniz
					47,5%	6,3%	37,4%	2,5%	0,3%	5,6%
<b>Orgánico</b>	73,4%	30%	37194	26036	12391	1653	9753	659	10	<b>1479</b>
<b>Cartón y papel</b>	10,0%	6%	5067	4763	2267	302	1784	121	19	<b>271</b>
<b>Metales</b>	0,9%	2%	461	452	215	29	169	11	2	<b>26</b>
<b>Plástico</b>	10,4%	0	5280	5280	2513	335	1978	134	21	<b>300</b>
<b>Vidrio</b>	2,8%	0	1424	1424	678	90	533	36	6	<b>81</b>
<b>Otros</b>	2,4%	10%	1247	1122	534	71	420	28	4	<b>64</b>
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>48%</b>	<b>50673</b>	<b>39077</b>	<b>18597</b>	<b>2481</b>	<b>1463</b>	<b>989</b>	<b>15</b>	<b>2220</b>

Fuente. Diseño Relleno Sanitario Regional – Pamplona 2014

Tabla 23. Balance de la fórmula química.

	C	H	O	N	S
<b>gr/mol</b>	12,01	1,01	16	14,01	<b>32,06</b>
<b>Total moles</b>	1548,45	2456,8	914,89	70,57	4,75
<b>Reducción a un mol de N</b>	21,94	34,82	12,96	1,00	0,07
	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

Fuente. Diseño Relleno Sanitario Regional – Pamplona 2014

Formula de los residuos y balance molecular.

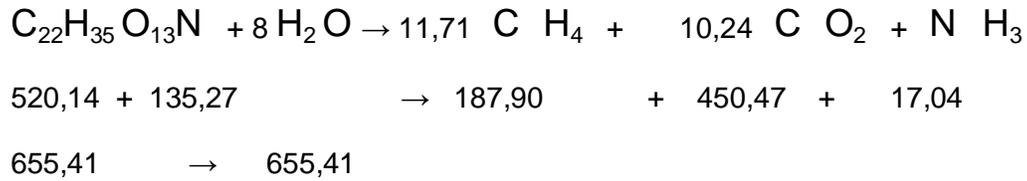


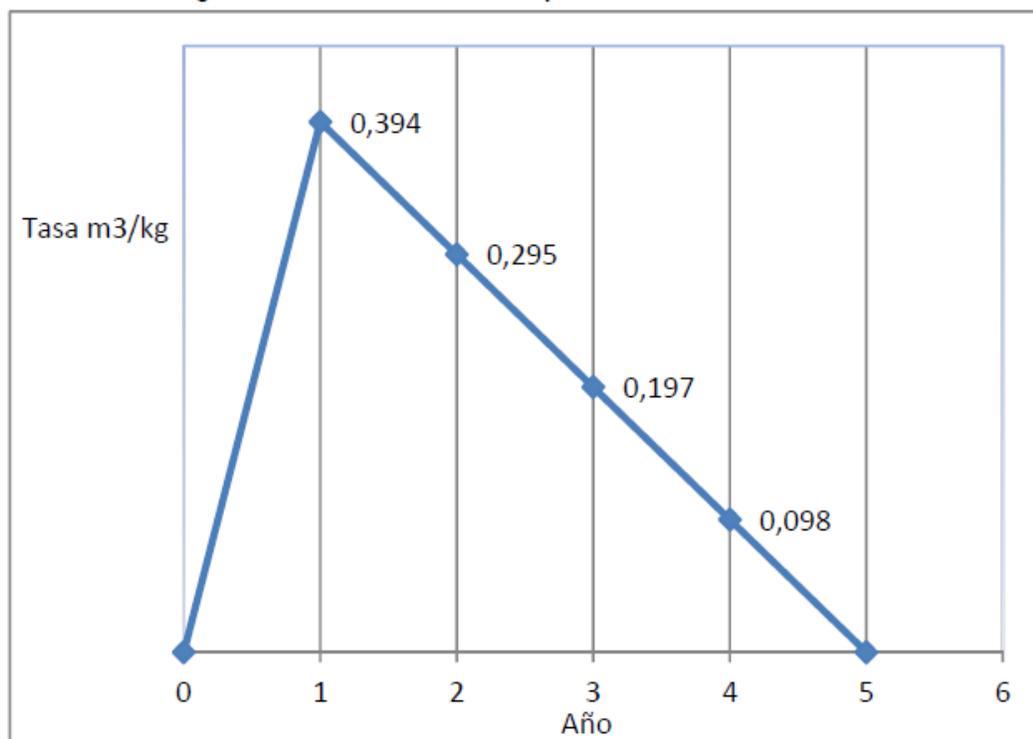
Tabla 28. Cálculo de la tasa de generación de gases.

Peso Seco Residuo (Kg/día)	Peso Molec CHON g/mol	Gas	Símb	PE kg/m <sup>3</sup>	P e s o M	Peso Gas kg/día	Volumen		Tasa m <sup>3</sup> /kg
							m <sup>3</sup> /día	%	
39.077	520,14	Metano	CH <sub>4</sub>	0,72	187,90	14.116,43	19.688,1	51,2	0,50
		Dióxido Carbon	CO <sub>2</sub>	1,98	450,47	33.842,93	17.109,6	44,5	0,43
		Amoniaco	NH <sub>3</sub>	0,77	17,04	1.280,18	1.660,4	4,3	0,04
						49.239,54	38.458,2	100%	0,98

Tasa anual de gases.

Año	Tasa Anual de Gases m <sup>3</sup> /kg	Tasa Anual de Gases Acumulada m <sup>3</sup> /kg
h0	0	
1		0,1968
h1	0,39	
2		0,3445
h2	0,29	
3		0,2460
h3	0,19	
4		0,1476
h4	0,09	
5		0,0492
h5	0	

Figura 13. Tasa anual de generación de gases por cada 5 años.



Fuente. Diseño Relleno Sanitario Regional – Pamplona 2014

A partir de los datos de generación de GEI en el relleno sanitario La Cortada, obtenidos por los diseñadores del relleno se realizaron los siguientes cálculos, teniendo en cuenta que en el 2014 aún hay generación de gases de los residuos dispuestos en los 4 años anteriores, según la tasa de generación de la fig. 13.

Tabla 25. Generación de metano y CO<sub>2</sub> en el relleno sanitario La Cortada.

Año	Promedio de Residuos Dispuestos ( Kg/día)	Año de Generación de gases	Tasa de Generación de gases	Generación media anual de CH <sub>4</sub> (Kg/año)	Total Generación de CH <sub>4</sub> en 2014 (Kg/año)	Generación media anual de CO <sub>2</sub> (Kg/año)	Total Generación de CO <sub>2</sub> en 2014 (Kg/año)
2011	39077	4 <sup>a</sup>	0,098	5152340	504929,32	12352330	1210528,34
2012	39077	3 <sup>a</sup>	0,197	5152340	1015010,98	12352330	2433409,01
2013	39077	2 <sup>a</sup>	0,295	5152340	1519940,3	12352330	3643937,35
2014	39077	1 <sup>a</sup>	0,394	5152340	2030021,96	12352330	4866818,02
<b>Total acumulado</b>					5069902,56		12154692,72

Fuente: El Autor.

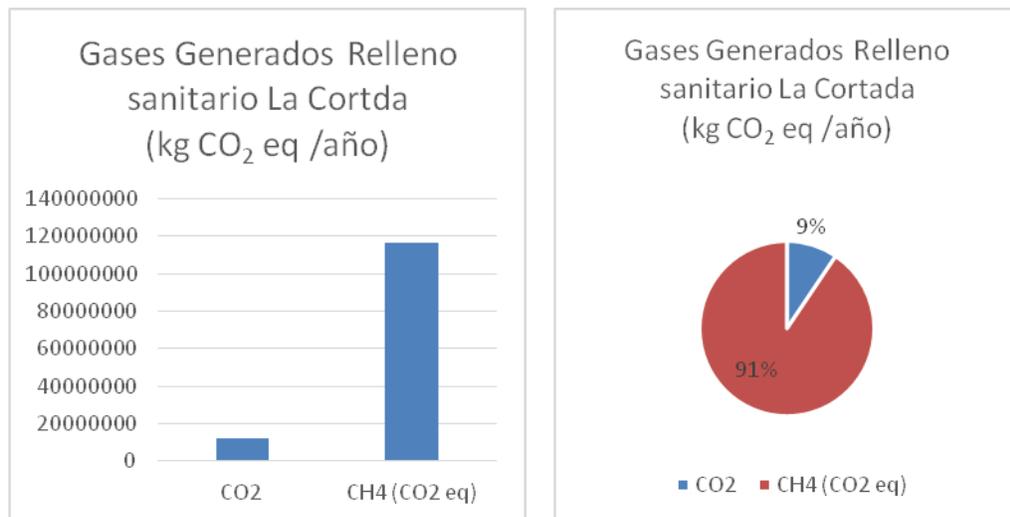
Teniendo los resultados de generación de gases en el relleno sanitario procedemos a determinar los valores finales en términos de CO<sub>2</sub>eq aplicando la equivalencia  $GPW_{100}^{(2)}$  para GEI.

Tabla 26. Generación total de gases en términos de CO<sub>2</sub>eq

GAS	Gases Generados en 2014 (Kg/año)	Equivalencia $GPW_{100}^{(2)}$	Gases Generados en 2014 (Kg CO <sub>2</sub> eq)
CO <sub>2</sub>	12.154.692,72	1	12.154.692,72
CH <sub>4</sub>	5.069.902,56	23	116.607.758,88
<b>TOTAL</b>			<b>128.762.451,60</b>

Fuente: El autor

Grafica 8. Gases E.I. Generados en el relleno sanitario La Cortada.



Fuente: El Autor

De lo anterior se puede extraer el gran impacto GWP que tiene la emisión de gases en el relleno sanitario. 128.762.451,60 Kg CO<sub>2</sub>eq / año. De ellos el metano es el de mayor relevancia pues le corresponde el 91% de la emisión: 116.607.758,88 Kg CO<sub>2</sub>eq / año, el 9% restante corresponde al CO<sub>2</sub> emitido directamente: 12.154.692,72 Kg CO<sub>2</sub>eq / año. También se emiten otros gases como los VOCs, NH<sub>3</sub>, pero de menor relevancia por su poca cantidad.

De lo anterior se puede extraer que Empopamplona debe realizar prioritariamente gestiones conducentes a disminuir las emisiones de metano producidas en el relleno sanitario La Cortada.

### 8.1.6 Comparación final entre servicios incluyendo el relleno sanitario de los resultados de Impacto ambiental.

#### 8.1.6.1 Comparación por servicios y relleno sanitario.

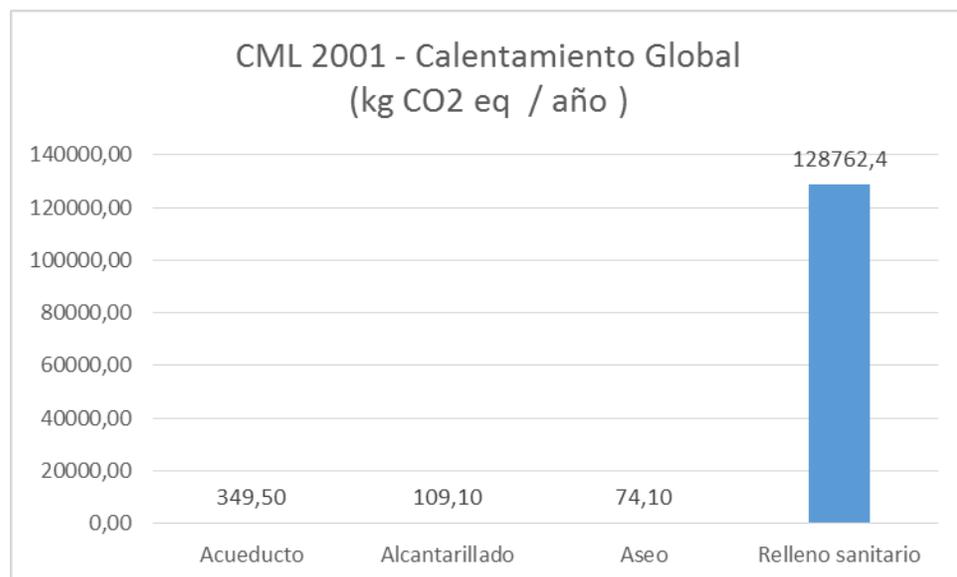
Con el objetivo de identificar el servicio de mayor impacto GWP, se realiza a continuación la comparación de los resultados obtenidos incluyendo la generación de gases en el relleno sanitario.

Tabla 27. Resultados finales de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por servicio y relleno Sanitario

SERVICIO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq / año )
Acueducto	349.583,68
Alcantarillado	109.169,75
Aseo	74.102,88
Relleno sanitario	128'762.451,60
Total	129'295.307,90

Fuente: El autor.

Grafica 9. Comparación resultados finales por servicio y relleno sanitario.





Fuente: El Autor

De las gráficas anteriores se extrae que las emisiones de Dióxido de carbono producidas por Empopamplona, durante la operación del año 2014 acumulan 129'295.307,90 kg CO<sub>2</sub>eq (129.295,30 tCO<sub>2</sub>eq), de los cuales el 99,6% se debe a la generación de gases por la descomposición de residuos en el relleno sanitario regional La Cortada. El 0.27% corresponde al servicio de acueducto, el 0.08% es por el alcantarillado y el 0.05% por el servicio de aseo.

#### 8.1.6.2 Comparación final por insumos y flujos.

Con el fin de identificar los materiales y flujos con mayor incidencia en la generación de gases de efecto invernadero en la operación de Empopamplona, se realiza a continuación una comparación por insumo y flujos.

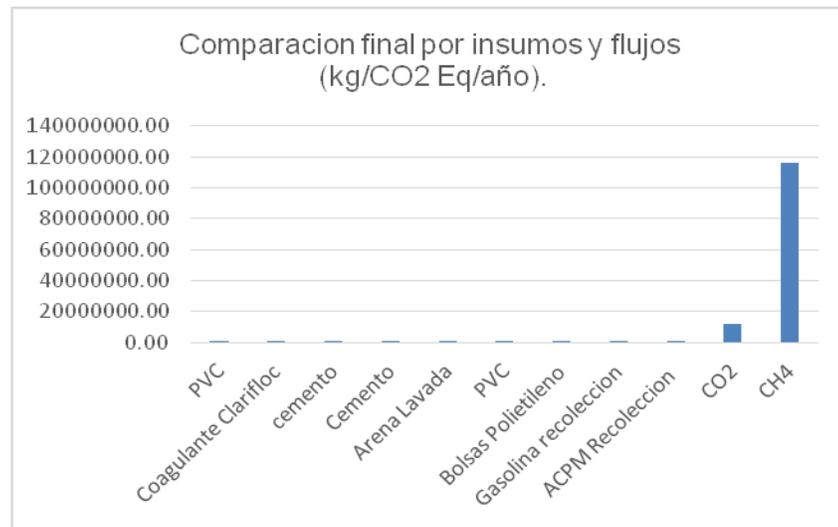
Para ello se elaboró la siguiente tabla en donde se tomaron los 3 elementos o flujos de mayor impacto encada uno de los servicios y relleno sanitario.

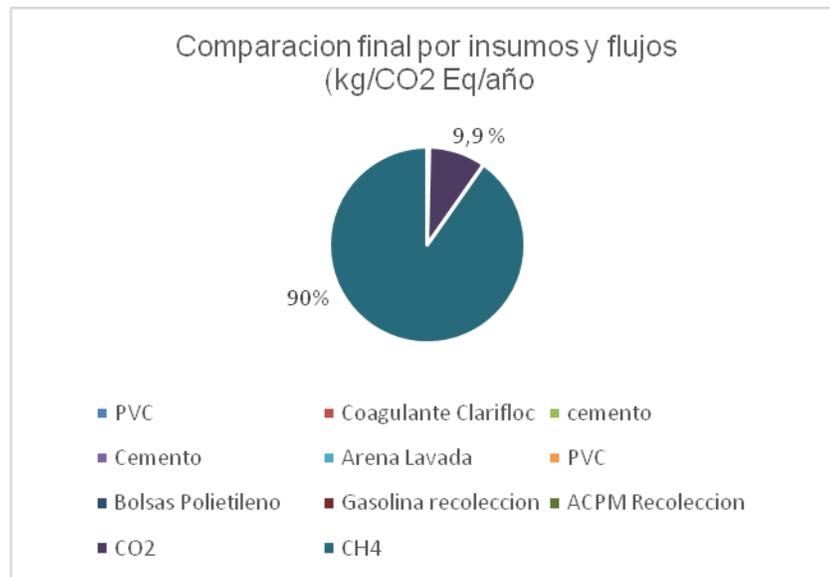
Tabla 28. Insumos y flujos con mayor impacto GWP

SERVICIO	INSUMO/FLUJO	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq / U.F./año)	Unidades Producid as/año	und. U.F.	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq / U.F./año)
ACUEDUCTO	PVC	0,0703	3524029	m <sup>3</sup>	247739,24
	Coagulante Clarifloc	0,0153	3524029	m <sup>3</sup>	53917,64
	cemento	0,00298	3524029	m <sup>3</sup>	10501,61
ALCANTARI LLADO	Cemento	0,0182	2404620	m <sup>3</sup>	43764,08
	Arena Lavada	0,0156	2404620	m <sup>3</sup>	37512,07
	PVC	0,00293	2404620	m <sup>3</sup>	7045,54
ASEO	Bolsas Polietileno	1,2	12624	ton	15148,80
	Gasolina recolección	1,03	12624	ton	13002,72
	ACPM Recolección	0,829	12624	ton	10465,30
RELLENO SANITARIO	CO <sub>2</sub>				12154692,72
	CH <sub>4</sub>				116607758,88

Fuente: El Autor.

Grafico 10. Comparación final por insumos y flujos.





De lo anterior se puede extraer que el flujo que la emisión de metano – CH<sub>4</sub> (producido en el relleno sanitario) es el componente de mayor influencia con un 90%, el CO<sub>2</sub> emitido directamente en el relleno sanitario representa el 9.9%, y los demás insumos utilizados en todo el servicio tienen un efecto de tan solo el 1%.

## **9 TOMA DE DECISIONES PARA MINIMIZAR IMPACTOS AMBIENTALES.**

Para la minimización de los impactos ambientales generados asociados al calentamiento global, por la operación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo se propone manejar a través de tres estrategias: Reducción en consumo o sustitución de insumos, compensación en sumideros de CO<sub>2</sub>, aprovechamientos de biogás.

A continuación se realiza una serie de propuestas con análisis para cada uno de los servicios.

### **9.1 REDUCCIÓN EN CONSUMO Y SUSTITUCIÓN DE INSUMOS.**

La estrategia consiste básicamente en reducir la cantidad de insumos o flujos que se estén utilizando actualmente por medio de la optimización de los procesos o en el cambio el producto que se está utilizando por otro que sea más amigable con el medioambiente.

Esta estrategia tiene varias limitaciones, la de mayor relevancia es que se depende mucho de la calidad de los insumos y tecnologías disponibles en el mercado local. También influye la eficiencia en los procesos, el precio de los insumos y las tecnologías aplicadas.

Hay productos que por su bajo grado de industrialización, tienen bajo impacto en términos del calentamiento global, pero la calidad y eficiencia en los procesos los hace poco competitivos. Adicionalmente puede generar otros impactos ambientales adversos como contaminación de fuentes hídricas y suelos.

#### **9.1.1 En el Servicio de Acueducto.**

Del análisis del acueducto, se obtuvo que el coagulante clarifloc utilizado en la potabilización del agua, es una de los de mayor impacto. Se puede plantear alternativas de reducción de la cantidad aplicada, mediante la implementación de un proceso de pre tratamiento que mejore las propiedades fisicoquímicas del agua que ingresa a la planta, y de este modo reducir la cantidad de coagulante empleado.

Aunque existen otros productos en el mercado, El clarifloc empezó a usarse en las plantas de Empopamplona, hace unos dos años en remplazo del producto tradicional, se mejoró notablemente la eficiencia del tratamiento, se disminuyó en un 50% la generación de lodos y adicionalmente ha representado disminución de costos (Empopamplona).

En cuanto a la aplicación de cloro gaseoso hay métodos como la osmosis inversa y la nanofiltración que retiran la totalidad de patógenos dejando la aplicación de cloro solo para la dosis residual necesaria que estipula la resolución 2115 de 2007, como desventaja esta medida además de necesitar grandes cantidades de recursos, requiere energía para soportar el proceso de filtrado por dichas membranas. (Gutiérrez, 2015)

Los productos a base de PVC son los de mayor impacto GWP en el acueducto, debido a la gran cantidad de elementos que se usan a diario, sin embargo el PVC es el más usado a nivel mundial por sus beneficios de calidad, duración y principalmente en términos de salubridad para sistemas de abastecimiento de agua potable. Su reemplazo por otro producto es difícil en nuestro medio, la opción estaría en que los fabricantes de estos productos optimicen sus procesos de fabricación reduciendo su huella de carbono y la Empresa adquiriera productos con sello verde.

En cuanto a la disminución en la cantidad empleada no es una opción muy viable, dado que esta depende directamente de los proyectos de ampliación y reposición de redes que se realicen en la ciudad y para la Empresa su misión es la de realizar la mayor cantidad de obras posible para ampliar cobertura y mejorar el servicio.

### **9.1.2 En el Servicio de Alcantarillado.**

Del análisis de alcantarillado, se encontró que los elementos de mayor impacto son el PVC y los materiales de construcción como cemento, arena, gravas etc.

Los productos a base de PVC tal como sucede en el acueducto, son los de mayor impacto GWP en el alcantarillado, debido a la gran cantidad de elementos que se usan a diario, el PVC es el más usado a nivel mundial por sus beneficios de calidad, manejo y duración. Como se expresó anteriormente su reemplazo por otro producto es difícil en nuestro medio, y la reducción de la huella de CO<sub>2</sub> estaría en manos de los fabricantes de estos productos.

La disminución en uso de los materiales estaría ligada directamente al número de obras que la empresa realice.

### **9.1.3 Servicio de Aseo.**

Del análisis del Aseo, se obtuvo que los elementos de mayor impacto GWP, son las bolsas de aseo, los combustibles, y materiales de construcción.

En cuanto a las bolsas de aseo, que están generando el mayor impacto en este servicio, anualmente se están usando en promedio 60.000 unidades. La empresa debe aplicar cuanto antes una estrategia que permita la reducción en el uso de estas bolsas. En los carritos de barrido las bolsas deberían sustituirse por recipientes reutilizables, los cuales descargarían su contenido en contenedores ubicados estratégicamente en la ciudad, con el uso exclusivo para barrido. Se estima que el consumo de bolsas se podría reducir hasta en un 70%. Adicionalmente como las bolsas no pueden eliminarse totalmente el tipo de bolsas debe cambiarse a biodegradables. Con esta acción podríamos tener una reducción estimada de unos 10.604 kg de CO<sub>2</sub>eq/año. (10,6 tCO<sub>2</sub>eq/año). Con la reducción de costos por el uso de las bolsas (treinta millones de pesos al año) perfectamente se puede financiar el proyecto de sustitución bolsas por recipientes permanentes en el barrido.

Otro elemento de gran importancia es el uso de combustibles, inicialmente la principal acción a realizar es dar de baja el vehículo recolector que funciona a gasolina y cambiarlo por uno nuevo a base de ACPM. Debido a que el vehículo a gasolina consume prácticamente la misma cantidad de combustible que los otros dos compactadores que funcionan con ACPM y el genera más CO<sub>2</sub> eq (13.002 kg de CO<sub>2</sub>eq) que los dos compactadores a base de ACPM (10.212 kg CO<sub>2</sub>eq /año). El cambio de este vehículo podría representar una disminución de 7.896 kg CO<sub>2</sub> eq /Año. (7,89 tCO<sub>2</sub>eq/año)

Adicionalmente se deben realizar otras acciones encaminadas a reducir el consumo de combustibles que incluyen, la optimización de las rutas de recolección, reducido tiempos muertos y desplazamientos innecesarios, mantener bien sincronizados los motores de los vehículos entre otras actividades.

Se debe analizar la posibilidad de cambiar el tipo de combustible de ACPM a Gas o algún tipo de biocombustible, sin embargo en el medio local esta opción es limitada ya que no existen estaciones para este tipo de combustible en la ciudad. En cuanto a la calidad del combustible utilizado este depende directamente del productor que en Colombia es ECOPETROL.

En cuanto a los materiales de construcción, la cantidad depende directamente de las obras que se realicen y la calidad de los mismos de sus fabricantes, se sugiere establecer una política de adquisición de productos con sello verde o con algún tipo de certificado que garantice las buenas prácticas ambientales en sus procesos de fabricación.

Como recomendación especial se sugiere el cambio del producto Niferex, utilizado como insecticida para el control de vectores en el relleno sanitario, aunque la cantidad utilizada es mínima 10 litros al año, por tener componentes

organoclorados, sus componentes tiene un alto impacto sobre el calentamiento global.

#### **9.1.4 En el Relleno sanitario la Cortada.**

La reducción de los residuos que llegan al relleno sanitario debe ser una prioridad no solo para Empopamplona sino para todo el Municipio de Pamplona en general.

Se estima que en Pamplona se están recuperando alrededor de 600 ton de residuos al año, equivalente al 5% de la producción total de RSU en el Municipio. Este trabajo lo desarrollan unas 50 personas agrupadas en tres cooperativas: CAREP, REASPAM Y RENACER. El Municipio ya cuenta con una planta de aprovechamiento de material inorgánico con capacidad de manejar 10 ton diarias de residuos, pero carece de maquinaria suficiente, por lo cual solo se está operando a un 15% de su capacidad.

En el plan de gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS de Pamplona, está contemplado la construcción de una planta de aprovechamiento de residuos orgánicos, acompañados de unos programas de educación ambiental, separación en la fuente y recolección selectiva, todo esto enmarcado en las nuevas políticas de gestión de residuos sólidos contenidos en el decreto 2981 de 2013 y la resolución 0754 de 2014.

La implementación exitosa de estos programas podrían reducir la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario de un forma progresiva, iniciando en un 5% actual hasta llegar a un 40% en 10 años, según las metas contenidas en el PGIRS, con la consecuente reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo esta reducción no puede evaluarse en una relación directa entre las toneladas de residuos aprovechados y la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>eq puesto que el funcionamiento de las plantas de aprovechamiento requieren de altos consumos de energía con la consecuente emisión de CO<sub>2</sub>eq asociado a este flujo. El proceso de compostaje es la descomposición controlada de la materia orgánica para producir abonos orgánicos, por lo tanto en este proceso se generan gases como el CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub>, la ventaja radica en que por ser un proceso controlado es más fácil y eficiente la recuperación del metano para su aprovechamiento, con la ganancia adicional de obtener un producto para la recuperación de terrenos y por medio de ello la fijación de carbono en suelos.

## **9.2 COMPENSACIÓN CON SUMIDEROS DE CO<sub>2</sub>.**

El concepto de sumidero en relación con el cambio climático fue adoptado en la CMNUCC de 1992. Según la Convención, 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”. Los ecosistemas terrestres y el mar son los principales sumideros de gases de efecto invernadero de la biosfera y absorben principalmente CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

El Protocolo de Kioto permite que los países que lo han ratificado, y que tienen compromisos de limitación o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, utilicen la absorción de carbono de la atmósfera debida a los sumideros para compensar parte de sus emisiones. La contabilización total del carbono consistiría en una consideración completa de las variaciones del carbono almacenado en todas las superficies de un país, incluyendo todos los reservorios de carbono. Esto permitiría, en principio, obtener el balance del intercambio neto de carbono entre los ecosistemas y la atmósfera. Sin embargo, en el Protocolo de Kioto, se especifica que los países firmantes, a efecto del cumplimiento de sus compromisos de limitación o reducción de emisiones a la atmósfera, solamente pueden considerar las absorciones producidas en las áreas terrestres en las que se realiza alguna actividad “inducida por el hombre directamente relacionada con el cambio del uso del suelo” que haya tenido lugar desde 1990, y que sea medible y verificable. (oecc -www.marm.es).

Los sistemas forestales, especialmente los bosques, contribuyen potencialmente a la mitigación del cambio climático gracias a su influencia sobre el ciclo global del carbono: almacenan carbono en la vegetación y el suelo, lo intercambian con la atmósfera a través de la respiración de las plantas y de la actividad microbiana, son fuentes de emisión de carbono cuando son perturbados y de nuevo se convierten en sumideros de carbono. (oecc -www.marm.es)

Al igual que el resto de plantas, los árboles absorben el CO<sub>2</sub> y se quedan con el carbono de la molécula. Lo utilizan en forma de carbohidratos en sus procesos metabólicos para ir creciendo. De esta forma, los átomos de carbono quedan fijados en la madera del tronco, las ramas, las raíces, ayudando a retirar el exceso de CO<sub>2</sub> de la atmósfera que causa el cambio climático. Al menos, temporalmente. Más o menos el 50% del peso seco de cualquier árbol es carbono, Pongamos que se trata de un pino silvestre de una tonelada: aproximadamente 500 kilos serían agua y habría otros 500 de madera seca. Así pues, en el pino habría acumulados 250 kilos de carbono, que equivaldrían<sup>(1)</sup> a 915 kilos de CO<sub>2</sub>.

((1) Para pasar carbono a CO<sub>2</sub> hay que multiplicar el carbono por 3,66. Este factor se calcula teniendo en cuenta el peso molecular del CO<sub>2</sub>, que es de 44 gramos (12 g del carbono (C) y 32 g de los dos átomos de oxígeno (O)).  $44/12=3,66$ . ) (Montero, Ruiz, 2011)

Es importante resaltar que solo hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó. La muerte puede darse por envejecimiento, plagas, tala o por otros factores como incendios forestales. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto carbono (CO<sub>2</sub>) captura el árbol durante toda su vida.

En el caso en el que la madera de un árbol sea aprovechada lo importante es el producto en que será convertido, no es lo mismo que sea convertido en papel que puede durar días a un mueble que puede durar décadas.

“El CO<sub>2</sub> siempre vuelve a la atmosfera, los árboles no solucionan el problema del cambio climático, lo único que nos dan es algo de tiempo para llevar a cabo otras acciones; la cuestión no es sólo cuánto carbono pueden fijar los árboles, sino durante cuántos años”, Los árboles que capturan más carbono son aquellos que están creciendo. De ahí, que sean las masas forestales más jóvenes las más efectivas para retirar CO<sub>2</sub>. En el caso de los bosques más antiguos, sus gruesos troncos serán los que tengan almacenado una mayor cantidad de carbono, aunque con el tiempo habrán dejado de crecer y ya no contribuirán a reducir más CO<sub>2</sub> de la atmósfera. La forma en que se va a conseguir almacenar CO<sub>2</sub> por más tiempo es protegiendo los árboles para que perduren. (Montero, Ruiz, 2011)

Hay muchos estudios a nivel mundial de la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono el cual 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.

De estos estudios se pueden obtener datos de fijación de CO<sub>2</sub> por hectárea de bosque, dependiendo de la zona bioclimática y de la especie plantada. A continuación se presentan algunos de estos datos.

Del estudio publicado en 2011 por la Red Española de ciudades por el Clima denominado *Los Sumideros de Carbono a Nivel Local* se extrajo la siguiente tabla:

Tabla 29. Crecimiento de Volumen con corteza (VCC) y fijación de CO<sub>2</sub> anuales de las principales especies de bosques Españoles en los rangos de calidad de estación más representativos para cada una de ellas.

<b>Especie</b>	<b>Crecimiento VCC medio anual (m<sup>3</sup>/ha y año)</b>	<b>Fijación CO<sub>2</sub> media anual (t/ha y año)</b>
<i>Castanea sativa</i>	6-10	10-20
<i>Eucalyptus sp. (cornisa cantábrica)</i>	15-25	30-50
<i>Fagus sylvatica</i>	4-6	8-12
<i>Juglans regia</i>	2-6	4-12
<i>Pinus canariensis</i>	2-6	3-8
<i>Pinus halepensis</i>	2-5	4-9
<i>Pinus nigra</i>	4-6	6-9
<i>Pinus pinaster atlántico</i>	8-12	11-16
<i>Pinus pinaster mediterráneo</i>	2-4	3-5
<i>Pinus pinea</i>	2-4	4-7
<i>Pinus radiata</i>	15-20	16-22
<i>Pinus sylvestris</i>	4-6	6-9
<i>Populus sp.</i>	15-30	22-45
<i>Prunus avium</i>	5-8	10-16
<i>Quercus faginea,</i> <i>Quercus pyrenaica (monte bajo)</i>	2-4	5-11
<i>Quercus ilex (monte bajo)</i>	1-4	3-12
<i>Quercus robur, Quercus petraea</i>	2-6	4-12
<i>Quercus suber</i>	2-4	6-12

Fuente: Red Española de ciudades por el Clima, 2011.

En un estudio realizado en Costa Rica por Markku Kanninen sobre el carbono en ecosistemas forestales tropicales se afirma que la mayoría de los sumideros de C en la vegetación están localizados en bosques (tropicales) de baja latitud (62%), mientras que la mayoría del C del suelo está localizado en los bosques de alta latitud (boreal) (54 %).

En los trópicos, el C que está en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 ton C/ha en bosques primarios, y entre 25 y 190 ton C/ha en bosques secundarios. En bosques tropicales, los sumideros de C en el suelo varían entre 60 y 115 ton C/ha. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de C en el suelo son considerablemente pequeños. (Kanninen, 2009).

Tabla 30. Depósitos superficiales de C en bosques tropicales

Tipo de Bosque	Almacenamiento de Carbono (ton C/ha)	
	Primario	Secundario
Bosque nuboso	230	190
Bosque estacional	140	120
Bosque seco	60	25

Fuente: (Brown y Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989).

Tabla 31. Carbono superficial en forestería y agroforestería en Centroamérica.

Sistemas de especies forestales	Zonas de Vida	Arboles (n/ha)	Edad (años)	Almacenamiento de C (ton/ha)	Flujo de C (ton/ha/yr)
<b>Sombra para café y cacao:</b>					
<i>Cliricidia sepium</i>	HP	330	30	51,6	1,7 <sup>(1)</sup>
<i>Cordia alliodora</i>	HP	278	10	24,9	2,5 <sup>(2)</sup>
<i>Mimosa scarabella</i>	HP	650	2	14,2	7,1 <sup>(3)</sup>
<b>Plantaciones - leña</b>					
<i>L. leucocephala</i>	SB	3800	5	28,9	5,8 <sup>(4)</sup>
<i>Eucalyptus saligna</i>	HP	1378	2,5	27,0	10,8 <sup>(5)</sup>
<b>Arboles en Potreros</b>					
<i>Alnus acuminata</i>	NB	35	30	25,0	0,8 <sup>(6)</sup>

(1) Salazar 1984, (2) Fassbender et al. 1991, (3) Picado 1986, (4) Martinez, 1989, (5) Salazar 1986, (6) Canet, 1986. HP = bosque tropical húmedo premontano, SB = bosque tropical seco bajo, NB = bosque tropical nuboso bajo. (Kursten y Burscschel, 1993)

Otras opciones de manejo de carbono relacionadas con los ecosistemas existentes y con los sistemas de producción, incluyen la incorporación de árboles a los sistemas agrícolas, ya sea como sistemas agroforestales o silvopastoriles. El contenido de C superficial de estos sistemas varía entre 10 y 70 ton/ha, y el flujo anual de C al sistema está entre 1-10 ton/ha/año. Cuando se considera el C almacenado en el suelo de estos sistemas, las cifras anteriores pueden multiplicarse por el factor 2. (Kanninen, 2009 )

En un estudio realizado por el investigador Juan Gamarra Ramos sobre fijación de CO<sub>2</sub> en un bosque de Eucalyptus, en Huahuas, Perú, se obtuvieron como resultado que para árboles en edades entre 1 y 50 años la fijación anual de CO<sub>2</sub> está entre 32,93 tCO<sub>2</sub>/ha y 12,73 tCO<sub>2</sub>/ha.

Tabla 32. Incremento corriente anual y captura potencial de carbono en Plantaciones de Eucalyptus, Huahuas, Perú.

Edad (años)	IMA ajustado m <sup>3</sup> /ha/año	Incremento anual de biomasa tms/ha/año	Captura potencial anual de carbono en tC / ha	Fijación de CO <sub>2</sub> anual en tCO <sub>2</sub> /ha
5	29.91	17.95	8.97	32.93
10	27.32	16.39	8.20	30.08
20	23.09	13.85	6.93	25.42
30	19.30	11.58	5.79	21.25
40	16.32	9.79	4.90	17.97
50	14.93	8.96	4.11	15.08
60	11.56	6.94	3.47	12.73

Fuente. Gamarra, 2001.

El potencial de fijación de CO<sub>2</sub> en el sistema forestal de Colombia ha sido presentado por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (MMA, 2000) en el “Estudio de Estrategia Nacional para la implementación del MDL en Colombia”. A raíz de esto, varios estudios vienen estimando ese potencial de fijación de CO<sub>2</sub> en situaciones concretas. Gutiérrez (2001) y Lopera (2000) estiman este potencial para bosques plantados, en donde se evalúa la viabilidad de distintas opciones de manejo de plantaciones forestales comerciales bajo la estimación de distintas estrategias de manejo, que aumenta la fijación de CO<sub>2</sub> y su correspondiente costo de oportunidad. MacDicken (1997) presenta diferentes métodos para monitorear y estimar la fijación de CO<sub>2</sub> en bosques nativos. En el caso concreto de Colombia Herrera *et al.* (2001) hace una revisión de estos métodos y proponen metodologías de cálculo de capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> de bosques naturales secundarios y primarios. (Lozano, 2007).

A nivel de Colombia se buscó un estudio realizado en condiciones similares a las del Municipio de Pamplona que nos permitiera obtener algunos datos sobre fijación de CO<sub>2</sub> en bosques nativos, se encontró el estudio denominado “*Caracterización, almacenamiento de carbono y emisiones evitadas en bosques nativos en áreas de influencia del páramo de Anime Tolima, Colombia*” realizado en 2013 por el ingeniero Carlos Arturo Mojica de la Universidad del Tolima, entre los resultados se encuentran los siguientes:

Tabla 33. Carbono y emisiones evitadas para los bosques de la RNSA.

Tipo de Bosque	Área (ha)	Carbono (MgC/ha)	CO2eq/año (Mg/ha)
<b>Achaparrado (3500 -3600 m)</b>	2589	25	91.7
<b>Maduro (3500-3600)</b>	5370	86.7	318
<b>Subparamo (2950-3100m)</b>	1291	117	429
<b>Total</b>	9250		839

Fuente: Mojica, 2013.

En Pamplona hay 720 hectáreas de áreas estratégicas que han sido adquiridas por el Municipio de Pamplona, CORPONOR y Empopamplona. Son zonas protegidas cuyo uso principal es el de conservación de fuentes hídricas, su vegetación es nativa, típica de ecosistemas de sub paramo y bosques de alta montaña. Más del 70% de este terreno es bosque nativo que se ha manejado con recuperación natural y en los últimos años se han reforestado unas 150 ha, 10 ha en el último año. Para el 2015 se hará la adquisición de 100 hectáreas más con un 50% del área en bosque nativo. Según lo anterior se estima que en las Áreas Estratégicas se puede contar con 520 hectáreas en bosque nativo y 300 con vegetación de sub paramo, que pueden tener un importante papel en la fijación de CO<sub>2</sub>.

Aunque debería realizarse un estudio específico para esta zona, teniendo en cuenta la bibliografía consultada sobre este tema, se puede considerar que el potencial de fijación de las áreas estratégicas en Pamplona podría estar entre 1 y 10 tCO<sub>2</sub>/ha/año.

En el capítulo 8 del presente estudio, se obtuvo que sin contar el relleno sanitario la operación de los servicios de Empopamplona genera al año: 532,84 tCO<sub>2</sub> eq /año, las cuales se estima que pueden ser compensadas por la fijación de CO<sub>2</sub> en los bosques de las áreas estratégicas, ya que su potencial de fijación puede estar entre 520 y 5200 tCO<sub>2</sub> eq /año.

Es necesario aclarar que en los bosques nativos según la normatividad Colombiana (resolución 0450de 2004 MADT) no se pueden desarrollar como proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio MDL, para comercialización de bonos de carbono, pues su vocación principal es la protección del recurso hídrico.

Sin embargo pueden usarse internamente como medios de compensación en la gestión ambiental empresarial.

Figura 14. Imágenes de las Áreas Estratégicas Protegidas de Pamplona.



Fuente: Empopamplona

### 10.3 Aprovechamientos de biogás.

Según los resultados obtenidos en el presente estudio, el proceso de mayor impacto en la generación de gases de efecto invernadero, es la operación del relleno sanitario la Cortada, en su etapa de degradación de los residuos dispuestos, con una incidencia del 99.6%. El CH<sub>4</sub> contribuye con el 90% y el CO<sub>2</sub> con 9.6%.

Por lo anterior los mayores esfuerzos deben estar encaminados a la eliminación o aprovechamiento del metano producido en el relleno sanitario.

La justificación de porque centrarse en el metano, radica en que es un muy potente e importante gas de efecto invernadero (GEI). El metano se convirtió en el segundo más importante después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contabilizando el 18% de las emisiones globales de GEI. Y si bien es cierto que el metano es emitido a la atmósfera en menores cantidades al CO<sub>2</sub>, su potencial de contribución al calentamiento global (debido a su propiedad de atrapar calor en la atmósfera) es 23 veces mayor al del CO<sub>2</sub>, resultando por lo tanto que el metano tenga mayor influencia en el calentamiento durante los 12 años de vida que tiene en la atmósfera. Por su aporte los rellenos sanitarios son la tercera fuente antropogénica más grande de metano teniendo un 13% de las emisiones. (Guía Aprovechamiento de Metano en rellenos sanitarios EPA,COCEF,ICMA).

Según proyecciones de emisiones de gas metano generado por los rellenos sanitarios municipales en el mundo, las mismas tenderán a incrementarse de 747.4 millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq) generadas en 2005 a 816.9 MtCO<sub>2</sub>eq para el año 2020, o un 9.2% de incremento (ver siguiente tabla).

Tabla 34. Proyección de Emisiones de gas Metano de los rellenos sanitarios Municipales por país: 2005-2020. (en MtCO<sub>2</sub>eq)

PAIS	2005	2010	2015	2020
<b>E.E.U.U.</b>	130.6	125.4	124.1	123.5
<b>China</b>	46.0	47.5	48.8	49.7
<b>México</b>	33.3	35.5	37.4	39.2
<b>Canadá</b>	25.3	27.7	30.7	39.2
<b>Rusia</b>	34.2	33.2	32.2	31.1
<b>Arabia Saudita</b>	19.4	22.1	24.8	27.5
<b>India</b>	15.9	17.1	18.1	19.1
<b>Brasil</b>	16.6	17.5	18.3	19.0

<b>Ucrania</b>	13.4	14.7	16.4	16.2
<b>Polonia</b>	17.0	17.0	17.0	17.0
<b>Sudáfrica</b>	16.8	16.6	16.4	16.2
<b>Turquía</b>	10.4	11.0	11.3	11.9
<b>Israel</b>	9.7	10.6	11.3	11.9
<b>Australia</b>	8.7	9.4	10.6	11.9
<b>El Congo</b>	7.4	8.6	9.8	11.2
<b>Resto de Mundo</b>	342.7	346.7	360.5	375.9
<b>Total Mundial</b>	747.4	760.6	788.1	816.9

Fuente: USEPA, /Guía Aprovechamiento de Metano.

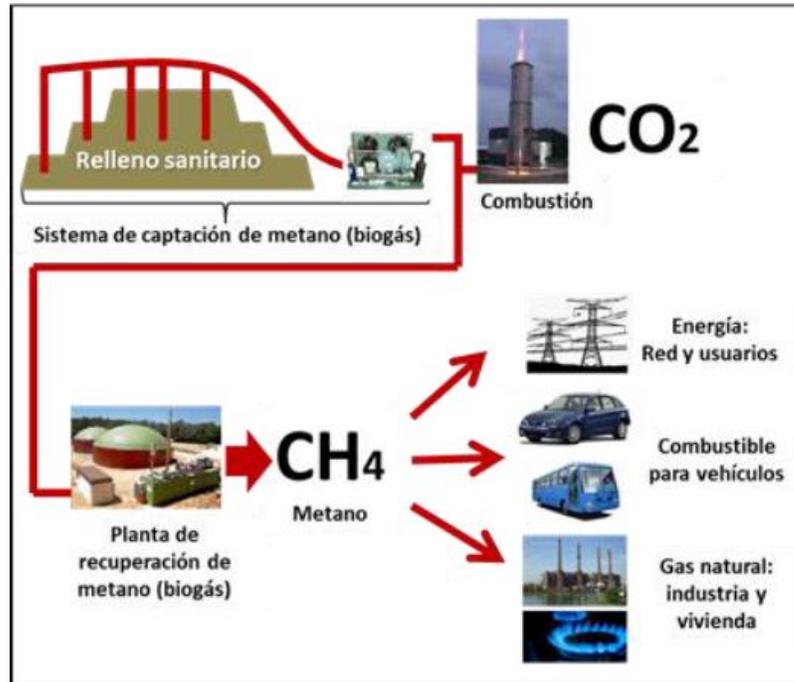
Mt: millones de toneladas.

La quema del biogás recogido en las chimeneas de los rellenos sanitarios constituye una solución simple a la reducción de las emisiones de metano, sin embargo, la recuperación del biogás puede ser el mecanismo más eficiente para reducir las emisiones atmosféricas de metano de un relleno sanitario

Los proyectos de captura y uso del metano pueden facilitar el desarrollo económico y mejorar las condiciones de vida locales. Entre los beneficios directos para un municipio o ciudad que emprende acciones en esta materia están los siguientes:

- Se pueden generar ingresos fiscales adicionales para el gobierno local
- Se aprovecha un combustible valioso que puede llegar a ser una importante fuente de energía
- Se reduce el riesgo de incendios en rellenos sanitarios, los cuales tienen Altos costos económicos, ambientales y hasta políticos
- Al generar su propia energía, el gobierno local puede disminuir sus costos por pago de energía eléctrica
- Mejora en la calidad de aire y reducción de olores
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Avances en metas de desarrollo sustentable

Figura 15. Captación y aprovechamiento de metano.



Fuente: Guía aprovechamiento de gas metano en rellenos sanitarios  
EPA, COCEF, ICMA

A nivel internacional el tema del cambio climático descansa principalmente en el **Protocolo de Kioto -PK**. El PK tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global, entre ellos el gas metano ( $CH_4$ ).

El Protocolo de Kioto posee tres instrumentos que buscan reducir la emisión de estos gases, siendo uno de ellos los Bonos de Carbono. Este instrumento ofrece incentivos económicos a los participantes (empresas privadas, públicas o mixtas) de este mecanismo o mercado.

La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a los participantes que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Las reducciones de gases se miden en toneladas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de  $CO_2$  que se deja de emitir a la atmósfera, y

puede ser vendido en el mercado de carbono a ciertos países. (Guía AMRS, EPA, et al 2011)

Son varios los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación y entre ellos están los rellenos sanitarios que queman el metano bajo ciertos parámetros.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano, dentro de países en desarrollo y recibir a cambio Certificados de Emisiones Reducidas (CER) aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio. Para que un relleno sea considerado como un MDL, y por lo tanto pueda inscribirse al mercado de bonos de carbono, el mismo deberá cumplir con un determinado diseño y construcción del sistema de captación de metano. Una vez que entre en operación dicha captación deberá monitorearse a través de una metodología para posteriormente realizar un proceso de verificación ya establecido. Luego de esto se emite un reporte por un organismo especial designado, y en el mismo se solicita la emisión CERs, los cuales pueden venderse para obtener ingresos por el equivalente a las emisiones que dejan de generarse. (Guía AMRS, EPA, et al 2011)

Para mejorar a nivel mundial la gestión del metano, los gobiernos nacionales, organismos internacionales, universidades, empresas privadas, y grupos civiles enfocados en la materia, vienen realizando numerosos esfuerzos multidisciplinarios. Uno de tales esfuerzos es la Iniciativa Global del Metano (IGM, [www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)). La IGM inició en 2004 y hoy tiene 40 países miembros entre ellos Colombia. La IGM lidera proyectos de recuperación y uso de Metano costo/beneficio en 4 líneas principales: Minas de Carbón, Petróleo y gas, Rellenos sanitarios y Agropecuarios. Colombia junto con Argentina y EEUU preside la línea de rellenos sanitarios.

Colombia es pionera en el área de manejo de Metano en rellenos sanitarios, esta iniciativa ha tenido gran acogida y actualmente se están desarrollando una estrategia denominada El Modelo Colombiano de Biogás, con el apoyo del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, La SSPD, ANDESCO, EPA e IGM, mediante el cual se encuentran en desarrollo 12 proyectos en todo el país.

Tabla 35. Proyectos MDL en rellenos sanitarios de Colombia.

<i>Relleno sanitario</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Desarrollador</i>	<i>Tipo de Proyecto</i>	<i>Estado actual del Proyecto</i>	<i>Inicio de Operaciones</i>	<i>CERs certificados</i>	<i>Potencial De reducción (tCO<sub>2</sub>e/año)</i>
Curva de Rodas	Medellín	Green Gas	Quema	Decomisionado	Oct -2008		167.321
La Pradera	Medellín	Green Gas	Quema	En operación	Jul -2008		
Doña Juana	Bogotá	Gas Natural	Electricidad	En operación	Sep-2009	76.048	827.384
Antanas	Pasto	Bionersis	Quema	En operación	Jun-2009	23.379	24.691
El Carrasco	Bucaramanga	Bionersis	Quema	En operación			61.230
El Guayabal	Cúcuta	Bionersis	Quema	En construcción			86.993
La Esmeralda	Manizales	Bionersis	Quema	En Construcción			86.993
Parque Ecológico Reciclante	Villavicencio	Bionersis	Quema	En Construcción			29.748
El Guayacal	Medellín	Green Gas	Quema	En construcción			124.865
Pirgua	Tunja	Carbón BW	Quema	En Construcción	May-2012		18.762
Loma Grande	Montería	Carbón BW	Quema	En Operación	Jul -2011		26.134
Andalucía	Montenegro	Carbón BW	Quema	En Operación			35.753

Fuente: Ludwing, Guerrero. 2013

De los proyectos existentes en Colombia el relleno de Antanas de la ciudad de Pasto, por sus condiciones ambientales y las condiciones socioeconómicas de la región es el que más podría tener similitudes con el relleno la cortada en Pamplona. Las principales características del proyecto MDL realizado en el relleno de Antanas son las siguientes:

Población beneficiada:	500.000 Habitantes
No Municipios beneficiados:	28
Producción en 2011:	10.555 Ton
Fecha Inicio producción:	junio de 2008
Fecha primeros CERTs	1 de Octubre de 2010
Fecha de finalización:	Septiembre de 2018
Inversión:	US\$ 1.200.000
Aportes Bionersis:	US\$ 1.200.000

Total estimado reducción: 246.972 tCO<sub>2</sub>e

tCO<sub>2</sub>e –Reducida: 25.170 (Ene-Dic 2010); 17.561 (Ene-Sep. 2011)

Fuente: Ing. Lorena Guerrero EMAS – Pasto.

Durante el periodo de funcionamiento de la planta quemó 4'987.739 m<sup>3</sup> de gas metano, con un flujo de 400 m<sup>3</sup>/h y con un porcentaje de concentración del 47.7%, equivalente a realizar cada una de las siguientes acciones: 4.441 ha de árboles sembrados, 7.773 vehículos apagados, 89.407 barriles de petróleo usados, 553 hogares con energía eléctrica. (Guerrero, 2011).

### ➤ **Estimación de la Generación de Gas Metano.**

Un punto crucial dentro del reporte del Proyecto de Factibilidad es la estimación de la generación de gas metano. Es un tema muy técnico donde se involucran fórmulas y acciones científicas. Primero debe recordarse que el metano es el producto de la descomposición de los residuos depositados en el relleno sanitario, por lo tanto la existencia de baja o alta cantidad de metano depende de varios factores, siendo los principales los siguientes:

- ✓ Cantidad de residuos depositados por año
- ✓ Composición de los residuos
  - Contenido de residuos orgánicos
  - Humedad en los residuos
- ✓ Precipitación anual en la zona del relleno
- ✓ Tecnología en la construcción del relleno

Teniendo en cuenta estos factores, los cuales deben ser sumamente detallados en el reporte del Proyecto de Factibilidad, se procede a estimar la generación del gas metano y para esto se hacen pruebas, monitoreos y evaluaciones técnicas sobre la producción de metano así como instalaciones básicas tales como: perforación y construcción de pozos de prueba, establecimiento de tuberías, uso de aparatos de medición, análisis de metano para determinar su calidad, etc. (Guía AMRS, EPA, et al 2011).

De lo anterior puede concluirse que el proyecto de aprovechamiento de metano es complejo y debe llevarse a cabo por expertos en el Área, que puedan determinar su factibilidad y costos de desarrollo. En Colombia hay compañías especializadas en el tema que han ejecutado proyectos exitosos con inversión extranjera y con la

opción de obtener CERTs para negociar en el mercado del carbono, obteniendo recursos económicos para inversión social en el área de influencia del relleno sanitario La Cortada.

Sin embargo la caída en el mercado de los CERTs, ha provocado que la mayoría de estos proyectos MDL se encuentren hoy día fuera de operación, en espera de un refortalecimiento del Protocolo de Kioto y la reactivación de los certificado de Carbono.

Haciendo un estimativo a partir de los valores obtenidos en otros rellenos sanitarios con sistemas de aprovechamiento de metano en Colombia y con base en el tonelaje de RSU dispuesto en cada uno de ellos, el potencial de reducción en el relleno sanitario La Cortada podría estimar por el orden de los 5.000 tCO<sub>2</sub>eq /año.

## 10. CONCLUSIONES.

Los impactos ambientales causados por la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo AAA en el municipio de Pamplona, medido a través del indicador de calentamiento global, muestran que durante el 2014 se emitieron 129.295,30 tCO<sub>2</sub>eq. La emisión directa de Metano y CO<sub>2</sub> por la descomposición de RSU en el relleno sanitario la Cortada, son los de mayor impacto con un 99,6% del total generado, siendo el metano el más representativo con un 90%.

Excluyendo lo generado en el relleno sanitario la prestación de los servicios AAA, produjo 532,84 tCO<sub>2</sub>eq, producto de la combustión directa de combustibles fósiles utilizados en los vehículos de Empopamplona y de los impactos indirectos derivados de los insumos utilizados en la operación de los servicios. Este impacto puede ser compensado con el sumidero de CO<sub>2</sub> ubicado en los bosques de las áreas estratégicas, que con 520 ha en bosque nativo.

La empresa debe realizar la aplicación efectiva de las estrategias de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>eq, como la disminución en el consumo de insumos, la sustitución de combustibles y prioritariamente la implementación de un sistema de quema o aprovechamiento de Metano.

Los resultados obtenidos en la presente investigación presentan cierta desviación debido a que los datos de insumos y flujos obtenidos del LCAMANAGER, provienen de productos y procesos de fabricación europeos y no se tienen referencias a nivel local.

## 11. RECOMENDACIONES

La aplicación del análisis del ciclo de vida requiere de información precisa del proceso al cual será aplicada esta metodología. De esta información depende la veracidad y la exactitud de los resultados. La desventaja que presenta la metodología de análisis de ciclo de vida con la implementación de software de cálculo de impacto ambiental, es la incapacidad de determinar los impactos locales del ente analizado, ya que se consideran impactos globales e indirectos.

Para realizar el inventario en las bases de datos, es necesario realizar aproximaciones con algunas sustancias empleadas ya que no todas las sustancias están representadas y/o no están proyectadas para la ubicación donde se realiza el estudio ambiental. Por este motivo estudios futuros bien pueden estar proyectados a ajustar sustancias en las bases de datos para la realización de ACV de una mayor precisión en los resultados.

## 12. REFERENCIAS

- AHMADI, A.; TIRUTA-BARNA, L. A Process Modelling-Life Cycle Assessment - MultiObjective Optimization tool for the eco-design of conventional treatment processes of potable water. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 116–125, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2015.03.045
- AMORES, M.J.; MENESES, M.; PASQUALINO, J.; ANTÓN, A.; CASTELLS, F. Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 84–92, 2013. doi:10.1016/j.jclepro.2012.12.033
- BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**, v. 284, p. 42–54. doi:10.1016/j.desal.2011.08.035
- ECOINVENT CENTRE. **Ecoinvent Data v 3.01**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen. 2013. Available at [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)
- EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. Documento interno. Descripción de procesos de potabilización Planta Cariongo y Monteadentro. 2014.
- EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. Documento Interno. Ampliación de la capacidad de disposición final de Residuos sólidos urbanos del relleno sanitario regional “La Cortada” Pamplona – Norte de Santander, 2013.
- EL-SAYED MOHAMED, M.; VAN DER STEEN N.P.; ABU-ZEID, K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt. **Journal of Cleaner Production**, v. 18 (10–11), p. 1100–1106, 2010. doi:10.1016/j.jclepro.2010.02.009
- FRIEDRICH, E. Life-cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable water. **Water Science Technology**, v.46(9), p. 29-36, 2012
- GÜERECA, L.P.; OCHOA, RICARDO.; GILBERT, H.E.; SUPPEN, NYDIA. Life cycle assessment in Mexico: overview of development and implementation. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20 (3), p. 311-317, 2015. doi:10.1007/s11367-014-0844-9

HYUNJU, J.; ELIZABETH, M.; JOHN, C.C. Life cycle assessment of the City of Atlanta, Georgia's centralized water system. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20 (6), p. 880-891, 2015. doi:10.1007/s11367-015-0874-y

IGOS, E.; BENETTO, E.; BAUDIN, I.; TIRUTA-BARNA, L.; MERY, Y.; ARBAULT, D. Cost-performance indicator for comparative environmental assessment of water treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 367–374, 2013. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.11.010

ISO, International Organisation for Standardisation. ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment Principles and Framework. **ISO**, Geneva, Switzerland, 2006.

KHAN, S.; SHAHNAZ, M.; JEHAN, N.; REHMAN, S.; SHAH, M.T.; DIN, I. Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 60, p. 93–101, 2013. doi:10.1016/j.jclepro.2012.02.016

KULAY, L.A.; VIÑAS, R.S.; HESPANHOL, I. Avaliação de desempenho ambiental de sistemas para fornecimento de água quente para uso doméstico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10 (2), p. 386-401, 2015. doi.org/10.4136/ambi-agua.1364

MENESES, M.; PASQUALINO, J.C.; CASTELLS, F. Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. **Chemosphere**, v. 81 (2), p. 266-272, 2010. doi:10.1016/j.chemosphere.2010.05.053

MERY, Y.; TIRUTA-BARNA, L.; BENETTO, E.; BAUDIN I. An integrated "process modelling-life cycle assessment" tool for the assessment and design of water treatment processes. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18 (5), p. 1062-1070, 2013. doi:10.1007/s11367-012-0541-5

ORTIZ-R, O.O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability assessment within the residential building sector: a practical life cycle method applied in a developed and a developing country**, VDM Publishing ISBN: 9788469307236, 2010

ORTIZ-R, O.O.; GARCÍA-CÁCERES, R.G. Assessing sustainability within the construction industry by means of a composite indicator. **Dyna**, v. 80 (182), p. 15-24, 2013

ORTIZ-R, O.O.; VILLAMIZAR, R.A.; RANGEL, J.M. Applying life cycle management of colombian cocoa production. **Food Science and Technology**, v. 34 (1), p. 62-68. 2014. doi.org/10.1590/S0101-20612014005000006

PASQUALINO, J.C.; MENESES, M.; CASTELLS, F. Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Reclamation and Reuse Alternatives. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15 (1), p. 49-63, 2011. doi:10.1111/j.1530-9290.2010.00293.x

RIBERA, G.; CLARENS, F.; MARTÍNEZ-LLADÓ, X.; JUBANY, I.; MARTÍ, V.; ROVIRA, M. Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 466–467, p. 377–386, 2014. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.085

RIBERA G.; CLARENS F.; MARTÍNEZ-LLADÓ X.; JUBANY I.; MARTÍ, V.; ROVIRA M. Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 466, p. 377-386, 2014. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.085

RONDEROS, M.T. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales: la planeación local, una oportunidad para que los niños, las niñas y los adolescentes del país tengan un medio ambiente adecuado para su desarrollo. **Publisher Procuraduría General de la Nación**. ISBN 9589784607, 9789589784600. p. 162 pages, 2006.

RUSSO, T.; ALFREDO, K.; FISHE, J. Review: Sustainable Water Management in Urban, Agricultural, and Natural Systems. **Water**, v. 6 (12), p. 3934-3956; 2014. doi:10.3390/w6123934

STACKELBERG, P.E.; GIBS, J.; FURLONG, E.T.; MEYER, M.T.; ZAUGG, S.D.; LIPPINCOTT, R.L. Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. **Science of the Total Environment**, v. 377, p. 255-272, 2007. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.095

SWARR, T.E.; ASSELIN A.C.; MILÀ I CANALS, L.; DATTA, A.; FISHER, A.; FLANAGAN, W.; GREYDA, K.; HUNKELER, D.; MOREL, S.; VARGAS O.A., RASTEIRO G. Building Organizational Capability for Life Cycle Management. In: **Life Cycle Management Part of the series LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment**, Chapter 17, Series Editors: Walter Klöper & Mary Ann Curran. Springer open. 2015, p. 239-256.

VILLAMIZAR, R.A.; ORTÍZ, O.O.; AQUILES-DARGHAN, E. Quick and easy methodology to determine somatic coliphages as indicators of fecal contamination in a water treatment plant located in northeastern Colombia. **Universidad y Salud**, v. 17(1), p. 57-68. 2015.

VINCE, F.; Aoustin, E.; BRÉANT, P.; MARECHAL, F. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. **Desalination**, v. 220 (1–3), p. 37–56, 2008. doi:10.1016/j.desal.2007.01.021

## 13 ANEXOS

## ANEXO 1.