

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR DOMÉSTICO EN LA
CUENCA DEL RÍO PORCE

JULIANA ARANGO OCHOA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2013

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR DOMÉSTICO EN LA
CUENCA DEL RÍO PORCE

JULIANA ARANGO OCHOA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2013

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR DOMÉSTICO EN LA
CUENCA DEL RÍO PORCE

JULIANA ARANGO OCHOA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director de Tesis

JOSÉ ADRIÁN RIOS ARANGO

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEDELLÍN

2013

Dedico este trabajo a mi
familia, especialmente a mis
padres por su apoyo
incondicional.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su agradecimiento a:

José Adrián Ríos Arango, Ingeniero mecánico y director del proyecto por sus valiosas orientaciones.

Viviana Andrea Martínez Navarrete por su orientación y colaboración en la elaboración de la Base de Datos y en el cálculo de la Huella Hídrica.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	12
GLOSARIO	14
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. APROXIMACIÓN DE MILÀ I CANALS	18
1.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CONSUMO DE AGUA DULCE SEGÚN PFISTER.....	19
1.3. EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE ACUERDO CON HOEKSTRA.....	20
1.3.1. Agua Virtual.	20
1.3.2. Huella Hídrica Azul.....	22
1.3.3. Huella Hídrica Verde.	23
1.3.4. Huella Hídrica Gris.	24
1.3.5. Huella Hídrica Total.....	27
2. METODOLOGÍA.....	35
2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	35
2.2. PRIORIZACIÓN DE SUBSECTORES.....	39
2.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	40
2.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA.....	40
2.4.1. Procesamiento de la Información.	40
2.4.2. Huella Hídrica en la cuenca del río Porce.	41
2.4.3. Determinación de variables implicadas en el cálculo de la huella hídrica.	47
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
3.1. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE AMALFI	53
3.1.1. Huella Hídrica Azul.....	54
3.1.2. Huella Hídrica Gris	56

3.2. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL ÁREA METROPOLITANA.....	58
3.2.1. Huella Hídrica Azul.....	60
3.2.2. Huella Hídrica Gris	62
3.3. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE BELMIRA.....	64
3.3.1. Huella Hídrica Azul.....	66
3.3.2. Huella Hídrica Gris	67
3.4. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE CAROLINA DEL PRÍNCIPE	69
3.4.1. Huella Hídrica Azul.....	70
3.4.2. Huella Hídrica Gris	72
3.5. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DON MATÍAS.....	74
3.5.1. Huella Hídrica Azul.....	75
3.5.2. Huella Hídrica Gris	77
3.6. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ENTRERRÍOS.....	79
3.6.1. Huella Hídrica Azul.....	80
3.6.2. Huella Hídrica Gris	82
3.7. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE GÓMEZ PLATA.....	84
3.7.1. Huella Hídrica Azul.....	85
3.7.2. Huella Hídrica Gris	87
3.8. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE GUADALUPE	89
3.8.1. Huella Hídrica Azul.....	90
3.8.2. Huella Hídrica Gris	92
3.9. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE LOS MILAGROS	94
3.9.1. Huella Hídrica Azul.....	95
3.9.2. Huella Hídrica Gris	97
3.10. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE OSOS	99
3.10.1. Huella Hídrica Azul	100
3.10.2. Huella Hídrica Gris.....	102
3.11. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO PORCE .	104

3.11.1.	Huella Hídrica Azul	104
3.11.2.	Huella Hídrica Gris.....	109
3.11.3.	Huella Hídrica Total	124
CONCLUSIONES		126
RECOMENDACIONES		129
BIBLIOGRAFÍA		130
ANEXOS.....		135
ANEXO I. Base de datos con la información recolectada para cada municipio en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI)....		135
ANEXO II. Cálculos y resultados de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce.		135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica .	28
Figura 2. La huella hídrica de un proceso como el componente básico de todas las huellas hídricas	29
Figura 3. Relación entre la huella hídrica de consumo nacional y la huella hídrica dentro de una nación	30
Figura 4. Huella hídrica verde y azul en relación con el balance hídrico de una cuenca hidrográfica.....	32
Figura 5. Localización de la cuenca del río Porce	36
Figura 6. Subcuencas y áreas hidrográficas en la cuenca del río Porce y los municipios que las conforman.....	38
Figura 7. Diagrama de los procesos que ocurren en la cuenca para el sector doméstico	41
Figura 8. Acueducto y Planta de Potabilización (PTAP)	42
Figura 9. Distribución de agua	43
Figura 10. Pérdidas en el Sistema de Distribución	43
Figura 11. Usuarios del Sector Doméstico	44
Figura 12. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	45
Figura 13. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Amalfi.....	55
Figura 14. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Amalfi	56
Figura 15. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Amalfi	57
Figura 16. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el Área Metropolitana	61
Figura 17. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el Área Metropolitana	63
Figura 18. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el Área Metropolitana	63
Figura 19. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Belmira.....	66
Figura 20. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Belmira	67
Figura 21. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Belmira	68
Figura 22. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Carolina del Príncipe.....	71
Figura 23. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Carolina del Príncipe	72
Figura 24. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Carolina del Príncipe	73

Figura 25. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Don Matías	76
Figura 26. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Don Matías	77
Figura 27. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Don Matías	78
Figura 28. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Entreríos	81
Figura 29. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Entreríos.....	82
Figura 30. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Entreríos.....	83
Figura 31. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Gómez Plata	86
Figura 32. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Gómez Plata.....	87
Figura 33. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Gómez Plata.....	88
Figura 34. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Guadalupe	91
Figura 35. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Guadalupe.....	92
Figura 36. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Guadalupe.....	93
Figura 37. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de San Pedro de los Milagros	96
Figura 38. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de San Pedro de los Milagros.....	97
Figura 39. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de San Pedro de los Milagros.....	98
Figura 40. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Santa Rosa de Osos	101
Figura 41. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Santa Rosa de Osos.....	102
Figura 42. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Santa Rosa de Osos	103
Figura 43. Comportamiento de la huella hídrica azul por municipios	105
Figura 44. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para la cuenca del río Porce	106
Figura 45. Huella hídrica azul positiva por habitante y agua extraída por metro cúbico consumido en los diferentes municipios de la cuenca.....	108
Figura 46. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en normas internacionales	110

Figura 47. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para el periodo de 0 a 2 años.....	111
Figura 48. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para el periodo de 2 a 5 años.....	112
Figura 49. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para el periodo de 5 a 10 años.....	113
Figura 50. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a normas internacionales.....	114
Figura 51. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a los Objetivos de Calidad.....	115
Figura 52. Huella hídrica gris per cápita por municipios calculada en base a normas internacionales.....	116
Figura 53. Huella hídrica gris per cápita por municipios calculada en base a los Objetivos de Calidad.....	117
Figura 54. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a normas internacionales.....	118
Figura 55. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a normas internacionales.....	119
Figura 56. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años.....	120
Figura 57. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 2 a 5 años.....	121
Figura 58. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 5 a 10 años.....	122
Figura 59. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años.....	123
Figura 60. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 2 a 5 años.....	123
Figura 61. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 5 a 10 años.....	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Huella Hídrica del sector doméstico para España, Italia, EE.UU, e India	31
Tabla 2. Huella hídrica interna en la cuenca del rio Guadiana.....	34
Tabla 3. Municipios incluidos en la Cuenca del Río Porce	37
Tabla 4. Concentraciones naturales y Concentraciones máximas permisibles.....	46
Tabla 5. Concentraciones típicas de vertimientos y Concentraciones a la entrada de la PTAP.....	52
Tabla 6. Porcentajes de remoción típicos según las unidades de tratamiento de las PTAR	53
Tabla 7. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Amalfi	54
Tabla 8. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Amalfi en un año típico.....	55
Tabla 9. Huella hídrica gris del municipio de Amalfi en un año típico	58
Tabla 10. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el Área Metropolitana	60
Tabla 11. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el Área Metropolitana en un año típico	61
Tabla 12. Huella hídrica gris del Área Metropolitana en un año típico	64
Tabla 13. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Belmira.....	65
Tabla 14. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Belmira en un año típico	66
Tabla 15. Huella hídrica gris del municipio de Belmira en un año típico	69
Tabla 16. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Carolina del Príncipe.....	70
Tabla 17. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Carolina del Príncipe en un año típico.....	71
Tabla 18. Huella hídrica gris del municipio de Carolina del Príncipe en un año típico	74
Tabla 19. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Don Matías	75
Tabla 20. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Don Matías en un año típico	76
Tabla 21. Huella hídrica gris del municipio de Don Matías en un año típico	79
Tabla 22. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Entreríos	80
Tabla 23. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Entreríos en un año típico	81
Tabla 24. Huella hídrica gris del municipio de Entreríos en un año típico.....	84

Tabla 25. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Gómez Plata	85
Tabla 26. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Gómez Plata en un año típico	86
Tabla 27. Huella hídrica gris del municipio de Gómez Plata en un año típico.....	89
Tabla 28. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Guadalupe	90
Tabla 29. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Guadalupe en un año típico	91
Tabla 30. Huella hídrica gris del municipio de Guadalupe en un año típico.....	94
Tabla 31. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de San Pedro de los Milagros	95
Tabla 32. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de San Pedro de los Milagros en un año típico	96
Tabla 33. Huella hídrica gris del municipio de San Pedro de los Milagros en un año típico	99
Tabla 34. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Santa Rosa de Osos	100
Tabla 35. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Santa Rosa de Osos en un año típico	101
Tabla 36. Huella hídrica gris del municipio de Santa Rosa de Osos en un año típico	104
Tabla 37. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en la cuenca del río Porce en un año típico	107
Tabla 38. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce en un año típico.....	116
Tabla 39. Huella hídrica total en la cuenca del río Porce en un año típico	125

GLOSARIO

Acuífero: Formación geológica en la cual se encuentra agua y que es permeable permitiendo así el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.

Agua Azul: Agua dulce superficial y subterránea. El agua presente en ríos, acuíferos y lagos.

Agua Transvasada: Agua transferida de una cuenca hidrográfica a otra cuenca hidrográfica.

Agua Verde: Precipitación sobre la tierra que no provoca escorrentía ni se suma a las aguas subterráneas, pero que se mantiene en el suelo, en la superficie o la vegetación, es decir, que no se pierde por filtración o río abajo.

Agua Virtual: Se refiere a la cantidad de agua que se requiere para producir un determinado producto.

Cuenca Hidrográfica: Área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar. Es una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o fluye toda al mismo río, lago o mar.

Huella Hídrica: Indicador del uso del agua dulce que considera no sólo el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también su uso indirecto. Es un indicador multidimensional, geográficamente explícito, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y los volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminante y los ubica en un área geográfica y un periodo de tiempo determinados.

Huella Hídrica Gris: Se refiere al volumen de agua que se requiere para asimilar los residuos, es decir, el volumen de agua necesaria para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua ambiental se mantenga por encima de las normas de calidad del agua.

RESUMEN

La huella hídrica es un indicador del uso del agua dulce, geográficamente explícito, que no solo representa el volumen de agua utilizada y contaminada, sino también la localización geográfica y el momento del año en que ésta es utilizada. La determinación de indicadores como la huella hídrica en un sector específico como el doméstico puede dar una idea del manejo que se le está dando al recurso hídrico en dicho sector, lo cual ayuda en la toma de decisiones por parte de los órganos competentes, y permite encontrar una manera de generar sostenibilidad de los recursos hídricos desde las unidades de planificación del territorio, incluyendo en ellas la cuenca como la mejor manera de analizar los procesos que ocurren en el.

En este proyecto se determinará la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce. Los resultados que se obtengan en este proyecto aportarán al desarrollo del conocimiento pues se determinará la primera aproximación a huella hídrica en el departamento de Antioquia con información suministrada por diversas fuentes primarias como la Gobernación de Antioquia y sus diferentes secretarías, Área Metropolitana, CORANTIOQUIA, entre otras, enfocándose en el sector doméstico, y permitirá desarrollar una metodología que podrá aplicarse a cuencas de características similares.

PALABRAS CLAVE: HUELLA HIDRICA; AGUA AZUL; AGUA GRIS; AGUA RESIDUAL DOMESTICA; CUENCA HIDROGRAFICA.

INTRODUCCIÓN

En el último siglo la población mundial se ha cuadruplicado, el consumo humano de agua se ha multiplicado por nueve y el consumo para usos industriales se ha multiplicado por cuarenta; la disminución de las reservas de agua se ve agravada con el aumento de la población mundial, estimada en alrededor de un 40% sobre la actual (1). La creciente demanda de agua dulce hace necesaria una mayor eficiencia en el uso del agua, es decir: producir el mismo volumen de bienes y servicios con menos agua (2)

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y aproximadamente las dos terceras partes de ésta se encuentran inmovilizadas en glaciares (3). La situación es aun mas grave si se considera la contaminación de los ríos y lagos mundiales, pues aunque la escasez se deba a ciclos climatológicos extremos, la actividad humana está influyendo en el aumento de la escasez pues no hay suficiente agua en calidad y cantidad para satisfacer las necesidades humanas y medioambientales (1). Unos 2 millones de toneladas de desechos son dispuestos diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas) (3). Sin embargo, la ausencia de un conocimiento claro sobre la magnitud de este hecho por parte de la población mundial resulta en la incapacidad para proponer medidas correctivas oportunas (3).

Colombia cuenta con acceso a dos mares, más de mil corrientes y una oferta hídrica per cápita de 57000 m³/año (4). Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3700 km³), el 61% se convierte en escorrentía superficial. La cuenca Magdalena-Cauca contribuye a este caudal total con el 13%, la amazonia con 39%, la Orinoquía con 27%, el Caribe contribuye con el 8% y el pacífico aporta el 13% (5). La demanda hídrica nacional se estima en 35877 millones de metros cúbicos, de los cuales el 54% corresponde al sector agrícola y el 7.3% al uso doméstico (5) . El 82% de la cantidad total de agua demandada para uso doméstico corresponde a cabeceras municipales, y el 5.9% corresponde a Medellín (5). La mayoría de las aguas residuales domésticas regresan a los ríos cargadas con detergentes y contaminantes orgánicos, y las aguas residuales del sector agrícola van cargadas con pesticidas y fertilizantes. Dicha contaminación por aguas residuales hace que tramos de importantes ríos estén biológicamente muertos; por otra parte el inapropiado uso del suelo ha generado desertificación y erosión en grandes extensiones del territorio (4).

La cuenca hidrográfica es la unidad más apropiada para el análisis y planificación de acuerdos institucionales (2). En Colombia actualmente se vienen adelantando diferentes acciones encaminadas al mejoramiento de la gestión integral del agua, con el ánimo de recuperar y proteger las diferentes fuentes hídricas con las que se cuenta; entre los ejercicios más importantes se encuentran los planes de ordenamiento de cuencas reglamentados por el gobierno nacional a través del decreto 1729 de 2002 (6). A pesar de que las normas de calidad ambiental del agua a menudo ya existan en la legislación nacional, o sean a veces formuladas para ciertas cuencas o cuerpo de agua en el marco de la legislación nacional o por acuerdos regionales, no suelen existir para todas las sustancias y para todos los lugares.

Es necesaria entonces una gestión efectiva e integrada de los recursos hídricos. El control y evaluación de ese tipo de gestión integrada solo puede realizarse mediante el empleo de indicadores sistémicos; en tal sentido, la huella hídrica es una propuesta a considerar que se sustenta en los principios del Análisis del Ciclo de Vida (7). La huella hídrica vincula una amplia gama de sectores y temas, proporcionando un marco adecuado para encontrar las posibles soluciones y contribuir a una mejor gestión de los recursos hídricos (8).

El cálculo de la huella hídrica del sector doméstico puede dar una idea del manejo que se les está dando a los recursos hídricos en dicho sector, lo cual ayuda en la toma de decisiones por parte de los órganos competentes, y permite encontrar una manera de generar sostenibilidad de los recursos hídricos desde las unidades de planificación del territorio, incluyendo en ellas la cuenca como la mejor manera de analizar los procesos que ocurren en ella. La huella hídrica también permite identificar las principales variables que intervienen en la unidad de planificación de cuencas al igual que las zonas críticas por vertimientos o contaminación, lo que posibilita generar acciones que realmente ataquen los orígenes de los problemas y garanticen la sostenibilidad ambiental del territorio, especialmente en términos de la disponibilidad del recurso hídrico.

En este proyecto se determinó la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce. Los resultados obtenidos en este proyecto aportan al desarrollo del conocimiento pues se determinó la primera aproximación a huella hídrica en el departamento de Antioquia con información suministrada por diversas fuentes primarias como la Gobernación de Antioquia y sus diferentes secretarías, Área Metropolitana, CORANTIOQUIA, entre otras, enfocándose en el sector doméstico, y se desarrolló una metodología que podrá aplicarse a cuencas de características similares.

1. MARCO TEÓRICO

Las actividades humanas contaminan o consumen una gran cantidad de agua. A escala mundial, la mayoría del uso del agua tiene lugar en la producción agrícola, pero también hay grandes volúmenes de agua consumida y contaminada en los sectores industrial y doméstico (9). El consumo total de agua y su contaminación son generalmente considerados como la suma de una variedad de actividades que consumen y contaminan el agua y se ha prestado poca atención al hecho de que, al final, el consumo total de agua y su contaminación son una función directa de lo que consumen las comunidades.

Hasta hace un tiempo, sólo existían unas cuantas nociones científicas sobre la práctica de la gestión del agua acerca del consumo de agua y su contaminación a lo largo de toda la producción y las cadenas de suministro. La idea de considerar el uso del agua a lo largo de las cadenas de suministro ha cobrado interés después de la introducción del concepto de “huella hídrica” por Hoekstra en 2002 (10).

La huella hídrica es un indicador del uso del agua dulce que considera no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también su uso indirecto. La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua (10). Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminante.

En la actualidad se tienen tres metodologías principales para cuantificar el uso del agua, sustentadas en los principios del análisis del Ciclo de Vida. Estas tres metodologías son: Evaluación del impacto del consumo de agua dulce según Pfister et al., aproximación de Milà i Canals et al., y evaluación de la huella hídrica de acuerdo con Hoekstra (10) (11) (12). Sin embargo la metodología más empleada en este tipo de estudios es la evaluación de la huella hídrica de acuerdo con Hoekstra.

1.1. APROXIMACIÓN DE MILÀ I CANALS

Este método intenta diferenciar entre diferentes tipos de uso del agua en inventarios del ciclo de vida y prevé dos categorías de impacto de punto medio para la evaluación del impacto del ciclo de vida (11).

De acuerdo a este método, debe incluirse tanto la fuente de agua como el tipo de uso del agua dulce en Inventarios de Ciclo de Vida (12). Según este enfoque, se

clasifican las fuentes de agua como agua azul y verde. El uso de agua se divide en dos categorías: uso por evaporación y por no evaporación (11). Este último es definido como el agua que es devuelta a la fuente de agua dulce después de su uso y queda disponible para su uso posterior (12). Además se proporcionan procedimientos para el cálculo de diferentes tipos de consumo de agua.

También sugiere que el agua verde y el uso por no evaporación de agua de un río, lago o acuífero deben ser ignorados en la evaluación de impacto del ciclo de vida porque su uso no provoca impactos ambientales relevantes desde una perspectiva de recursos (es decir, menor disponibilidad de agua para otros usuarios y efectos sobre los ecosistemas de agua dulce) (12).

El método describe las siguientes vías de impacto resultantes del uso del agua (11):

- El uso del agua que conduce a insuficiencia de disponibilidad de agua dulce que causa impactos en la salud humana
- El uso de las aguas subterráneas del acuífero por encima de la tasa de renovación que lleva a una menor disponibilidad de agua dulce como un recurso para las generaciones futuras (el agotamiento de agua dulce)
- El uso del agua que conduce a la insuficiencia de la disponibilidad de agua dulce afectando la calidad de los ecosistemas (impactos en el agua dulce de los ecosistemas)
- Los cambios en el uso del suelo que conducen a cambios en la disponibilidad de agua dulce, causando efectos sobre la calidad de los ecosistemas (impactos en el agua dulce de los ecosistemas)

1.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CONSUMO DE AGUA DULCE SEGÚN PFISTER

Este enfoque considera el uso del agua en una menor escala que el método de Milà i Canals et al. A diferencia del enfoque anterior, este método únicamente representa el consumo de agua azul, es decir, el consumo de aguas subterráneas y superficiales.

El método desarrollado por Pfister y sus colegas permite una evaluación global del impacto del consumo de agua dulce (11).

Este método distingue tres categorías de uso del agua: el uso del agua, el consumo de hídricos (donde el agua ya no está disponible en la cuenca) y la degradación de la calidad del agua (donde el agua está todavía disponible después de su uso pero con una calidad disminuida) (12). La principal diferencia entre el método de Milà i Canals et al. y este enfoque es que el agua descargada a otra Cuenca es tratada aquí como consumida mientras en el enfoque de Milà i

Canals et al. se considera el agua descargada a cualquier fuente de agua dulce como un uso por no evaporación. Además, a diferencia de la aproximación de Milà i Canals et al., este método sugiere que el vertido de aguas residuales debe evaluarse por la pérdida de la calidad del agua. Sin embargo, Pfister et al. no propone un método para hacer esto (12).

1.3. EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE ACUERDO CON HOEKSTRA

Aunque el agua forma un ciclo, de modo que el agua dulce sobre la tierra se ve continuamente repuesta, su disponibilidad no es ilimitada. Todas las personas necesitan un cierto volumen de agua al año para fines domésticos, agrícolas e industriales, que no puede exceder la tasa de reposición anual.

Basándose en el concepto de agua virtual, Hoekstra (2003) introdujo el concepto de huella hídrica que ha sido posteriormente desarrollado y refinado como un método para cuantificar el uso del agua por un producto, servicio o nación (12). Este concepto se ha utilizado como un indicador del uso del agua por las personas, grupos colectivos o países (13) y expresa la apropiación humana del agua dulce en términos de volumen (10).

La evaluación de la huella hídrica se refiere a toda una gama de actividades para cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor o de cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica de una zona geográfica específica, evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de esa huella hídrica y formular una estrategia de respuesta (10).

La huella hídrica tiene tres componentes: Huella hídrica verde, huella hídrica azul y huella hídrica gris. Dichos componentes pueden ser especificados geográfica y temporalmente (10).

1.3.1. Agua Virtual.

El concepto de agua virtual junto con la huella hídrica vinculan una amplia gama de sectores y temas, proporcionando un marco apropiado para buscar posibles soluciones y contribuir a una mejor gestión de los recursos hídricos, especialmente en países de zonas áridas o semiáridas (8). Además, el agua virtual y el análisis de la huella hídrica hacen explícito cuánta agua es necesaria para producir distintos bienes y servicios.

Se refiere a la cantidad de agua que se requiere para producir un determinado producto. El agua se denomina como “virtual”, porque la cantidad de agua

físicamente contenida en el producto final es insignificante en comparación con la cantidad que entró en su producción (14). Al principio, el estudio del papel del agua virtual se refirió principalmente a la producción de alimentos, pero progresivamente se ha extendido a la producción de todos los bienes y servicios que requieren el uso de agua en una región (13).

El concepto de agua virtual fue introducido por Allan (1998) y fue inspirado por su investigación sobre la idoneidad de las importaciones de agua virtual como una solución parcial a los problemas de escasez de agua en el Medio Oriente (14). Argumentó que el comercio de productos intensivos en agua en la región del Oriente Medio alivió la necesidad que tenían estos países importadores de usar su propia agua para producir el mismo producto (14). Si un país exportara un producto que exigiera mucha agua virtual para su producción sería equivalente a que estuviera exportando agua, pues de este modo el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener ese producto y podría dedicarla a otros fines. La importación de agua virtual está facilitando que los países pobres en recursos hídricos consigan seguridad alimentaria e hidrológica (13). De este modo pueden destinar sus limitados recursos hídricos a fines más lucrativos, como pueden ser el turismo o la industria o el abastecimiento urbano o la producción de cosechas de alto valor.

El Agua virtual y la evaluación de huella hídrica podrían promover la producción de bienes más adaptados a las condiciones ambientales locales y el desarrollo y adopción de tecnologías eficientes para el agua (8).

Mientras que la transferencia de agua real por largas distancias es muy costosa, lo que la hace poco factible económicamente, la transferencia de agua en forma virtual puede ser una forma eficaz de obtener productos intensivos en agua en lugares donde el agua es muy escasa (2).

El concepto de agua virtual tomó aplicaciones más precisas y prácticas una vez que Hoekstra y Hung (2002), Chapagain y Hoekstra (2003), Zimmer y Renault (2003), Oki et al (2003), Yang et al (2006) y de Fraiture et al. (2004) comenzaron a cuantificar y calcular los flujos de agua virtual global (14). América del Norte y América del Sur, Australia, la mayor parte de Asia y África Central, tienen una exportación neta de agua virtual. El reverso, una importación neta de agua virtual, se puede encontrar en Europa, Japón, norte y sur de África, Oriente, México e Indonesia (2). El volumen global de las corrientes de agua virtuales relacionados con el comercio internacional de productos básicos es de 1.625 millones $m^3/año$, de los cuales 1.200 millones $m^3/año$ se refiere a la exportación de productos; el resto se refiere a reexportaciones de mercancías importadas (de la misma forma como fueron importados o en forma procesada) (2).

Los estudios sobre el comercio de agua virtual internacional demuestran que el agua debe considerarse como un recurso global (oferta y demanda a nivel

mundial), en lugar de como un recurso de la cuenca del río (oferta y demanda dentro de la cuenca) (2).

1.3.2. Huella Hídrica Azul.

La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul, es decir, agua superficial y subterránea. “El consumo” se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua disponible en un área de captación. Dichas pérdidas se refieren principalmente a uno de los cuatro casos siguientes (10):

- El agua se evapora
- El agua se incorpora en un producto
- El agua no vuelve a la misma zona de flujo, por ejemplo, es devuelta a otra zona de captación o al mar.
- El agua no vuelve en el mismo periodo, por ejemplo, si se retira en un periodo seco y se devuelve en un periodo de lluvias.

El primer componente, la evaporación, es generalmente el más importante. Todo lo relacionado con la producción cuenta como evaporación, incluyendo el agua que se evapora durante el almacenamiento de agua (por ejemplo, en depósitos de agua artificiales), transporte (por ejemplo, en canales abiertos), el tratamiento (por ejemplo, la evaporación del agua caliente que no se recoge) y eliminación (por ejemplo, de canales de drenaje y de plantas de tratamiento de aguas residuales) (10).

Los dos últimos componentes se refieren a la parte devuelta a la cuenca que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca hidrográfica en el mismo plazo de retirada, ya sea porque se devuelve a otro sistema de captación (o se vierte al mar) o porque se devuelve en otro período de tiempo (10).

La huella hídrica azul se calcula según la Ecuación 1.

$$HH_{Azul} = \text{Agua evaporada} + \text{Agua incorporada} + \text{Agua que no retorna} \quad (1)$$

El hecho de que el agua se consuma no quiere decir que el agua desaparezca, porque el agua se mantendrá dentro del ciclo y siempre volverá a alguna parte. El agua es un recurso renovable, pero eso no significa que su disponibilidad sea ilimitada. En un determinado período, la cantidad de agua que recarga las reservas de aguas subterráneas y que fluye a través de un río está siempre limitada a un determinado volumen (10). El agua en los ríos y los acuíferos se puede utilizar para el riego o para fines industriales o domésticos. Pero en un determinado período no se puede consumir más agua que la que hay

disponible. La huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible en un determinado período que se consume (es decir, que no se devuelve a la misma cuenca hidrográfica). De esta manera, proporciona una medida del volumen de agua azul disponible que ha sido consumida por los seres humanos. El resto, las aguas subterráneas y las superficiales no consumidas para fines humanos, se emplean en mantener los ecosistemas que dependen de las mismas (10).

1.3.3. Huella Hídrica Verde.

La huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde. El agua verde se refiere a la precipitación sobre la tierra que no provoque escorrentía o se sume a las aguas subterráneas, pero que se mantenga en el suelo o su superficie o la vegetación, es decir, que no se pierde por filtración o río abajo. Finalmente, esta es la parte de la precipitación que se evaporará o que transpiran las plantas (10). El agua verde puede ser productiva para el crecimiento de cultivos (aunque no toda el agua verde puede ser absorbida por el cultivo, ya que siempre existirá la evaporación del suelo y porque no todas las épocas del año o zonas son adecuadas para el crecimiento de un cultivo).

La huella hídrica verde se calcula según la Ecuación 2.

$$HH_{Verde} = \text{Agua evapotranspirada} + \text{Agua incorporada} \quad (2)$$

El concepto de flujo de agua verde fue introducido por Falkenmark (1993) como el volumen total de agua evaporada de humedad del suelo (14). Posteriormente, Falkenmark y Lannerstad (2005) propusieron cómo el flujo de agua azul se transforma en flujo de agua verde como resultado de la evaporación de campos irrigados y humedales (14). Se hace una distinción más clara de agua verde y azul por Savenije (1998) y Do" Il (2002) mediante la definición de aguas verdes como la evaporación de las tierras de secano (14). Más tarde Chapagain et al (2006) utiliza esta distinción como base para calcular el contenido de agua virtual verde en productos de algodón y huellas hídricas de agua verde relacionados con el consumo de algodón (15).

La huella hídrica verde es el volumen de agua lluvia consumida durante un proceso de producción. Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos o de madera), donde se refiere a la evapotranspiración del agua de lluvia total (de los campos y las plantaciones), así como al agua incorporada en la cosecha o la plantación arbórea (10). El consumo de agua verde en la agricultura puede ser medido o estimado con un conjunto de fórmulas empíricas o con un modelo de cultivo apropiado para estimar la evapotranspiración con una base de datos sobre las características de clima, suelo y cultivo.

Hasta que se convierte en agua azul, el agua verde no contribuye a las corrientes ambientales que son necesarias para la salud de los ecosistemas de agua dulce ni es accesible para otros usos humanos (16). El agua verde sólo es accesible a través del acceso y la ocupación de la tierra. De hecho, el agua verde es solo uno de los numerosos recursos adquiridos a través de la ocupación de tierras; acceso a la radiación solar, viento y el suelo son otros de los recursos (16).

La distinción entre la huella hídrica azul y verde es importante porque los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, así como los costos de oportunidad económica de la superficie y el uso de aguas subterráneas para la producción difieren claramente de los impactos y los costes del uso del agua de lluvia (10).

1.3.4. Huella Hídrica Gris.

La huella hídrica gris se refiere al volumen de agua que se requiere para asimilar los residuos, cuantificada en el volumen de agua necesaria para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua ambiental se mantenga por encima de las normas de calidad del agua. El concepto de huella hídrica gris ha crecido a partir del reconocimiento de que la medida de la contaminación del agua se puede expresar en términos del volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes de tal manera que se conviertan en inofensivos (10).

La idea de expresar la contaminación del agua en términos de volumen de agua necesaria para diluir los residuos no es nueva. Falkenmark y Lindh (1974) propone como norma general a tener en cuenta un factor de dilución de 10 a 50 veces el flujo de aguas residuales. Postla et al. (1996) aplicó un factor de dilución para la absorción de residuos de 28 litros por segundo por cada 1000 habitantes. Estos factores de dilución genéricos no tienen en cuenta el tipo de contaminación y el nivel de tratamiento antes de su eliminación, pero implícitamente asumen algunas de las características promediadas de los flujos de desechos humanos. Chapagain et al. (2006) propuso que el factor de dilución dependiese del tipo de contaminante y utilizar como estándar de calidad de agua la de un contaminante determinado como criterio para cuantificar el grado de dilución (10).

El término "huella hídrica gris" fue introducido por primera vez por Hoekstra y Chapagain (2008) y se define como la carga contaminante dividida por la concentración máxima aceptable en el cuerpo de agua receptor. Un poco más adelante, se reconoció que la huella hídrica gris se calcula mejor como la carga contaminante dividida por la diferencia entre el máximo aceptable y la concentración natural del contaminante en el agua (10).

La huella hídrica gris se calcula según la Ecuación 3.

$$HH_{Gris} = \frac{Q_{vertido} \times C_{vertida} - Q_{captado} \times C_{captada}}{C_{m\acute{a}x} - C_{nat}} \quad (3)$$

La huella hídrica gris es un indicador de la capacidad de asimilación absorbida. La capacidad de asimilación de un cuerpo de agua receptor depende de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural de una sustancia (10), así como de factores físicos, químicos, y biológicos, que tienen una naturaleza dinámica (7). Si se compara la concentración máxima permisible con la concentración real de una sustancia, nos indicará la capacidad de asimilación restante, que cambia con el tiempo, en función del nivel real de contaminación en un momento determinado (10).

Los cálculos de huella hídrica gris se realizan con las normas ambientales de calidad del agua para el cuerpo de agua dulce que las reciben, es decir, las normas con respecto a las concentraciones máximas permisibles. La razón es que la huella hídrica gris tiene como objetivo mostrar el volumen necesario de agua natural para asimilar productos químicos. Las normas de calidad ambiental del agua son una categoría específica de las normas de calidad del agua. El estándar de calidad de agua puede variar de un cuerpo a otro de agua para una sustancia en particular (10). Además, la concentración natural puede variar de un lugar a otro. Como resultado, una carga contaminante determinada puede dar lugar a una huella hídrica gris en un lugar y a otra diferente en otro lugar. Esto es razonable, ya que el volumen de agua necesaria para la asimilación de una carga de contaminantes determinados puede ser diferente en función de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural.

Tanto las normas de calidad ambiental del agua como las concentraciones naturales varían para cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Sin embargo, el agua subterránea generalmente termina apareciendo como agua superficial, de modo que para una carga contaminante de las aguas subterráneas se puede tomar la diferencia entre la norma de calidad del agua estándar y la concentración natural del cuerpo de agua más crítica (ya sea el sistema de agua subterránea o el sistema de agua superficial) (10).

Una huella hídrica gris mayor que cero no implica automáticamente que las normas de calidad del agua ambiental se hayan trasgredido, pero muestra la parte de la capacidad de asimilación que ya se ha consumido (10). Mientras la huella hídrica gris calculada sea menor que el caudal de los ríos o el flujo de agua subterránea, se considerará que hay agua suficiente para diluir los contaminantes a una concentración por debajo de la norma. Cuando la huella hídrica gris calculada es precisamente igual al flujo de agua, la concentración resultante será considerada que se ajusta a la norma (10). Cuando el efluente contenga una carga muy alta de productos químicos, puede ocurrir que la huella hídrica gris calculada

supere el caudal de los ríos existentes o flujo de agua subterránea. En este caso, la contaminación va más allá de la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor (10). El hecho de que la huella hídrica gris pueda ser mayor que el flujo de agua existente muestra que la huella hídrica gris no indica "el volumen de agua contaminada" (porque no sería posible contaminar un volumen mayor al existente). Sin embargo, la huella hídrica gris es un indicador de la gravedad de la contaminación del agua (10).

Cuando un flujo de residuos se refiere a más de una forma de contaminación, como es generalmente el caso, la huella hídrica gris es determinada por el contaminante más importante, es decir, el que está asociado con la huella hídrica más alta de contaminantes específicos de tipo gris. Con el fin de encontrar un indicador global de contaminación del agua, es suficiente utilizar la huella hídrica gris sobre la base de la sustancia fundamental (10). Si el interés es medir las huellas hídricas grises por contaminante, se puede conseguir un informe de los valores por separado. Esto es especialmente importante para la formulación de medidas de respuesta dirigida a contaminantes específicos (10). Algunos estudios recientes cuantifican la huella hídrica gris centrándose en la contaminación de nitrógeno y fósforo en una región particular o en determinadas actividades o productos (17).

La huella hídrica gris se mide sobre la base de las cargas que entran en los volúmenes de agua dulce (inducidas por el hombre), no sobre la base de las cargas que se puedan medir en el caudal de los ríos o del agua subterránea en algunos puntos aguas abajo (10). La elección para medir la huella hídrica gris en el punto donde los contaminantes entran en el sistema de agua subterránea o de superficie tiene la ventaja de ser relativamente simple, porque no es necesario modelar los procesos que cambien la calidad del agua a lo largo del río, y más correcta debido que a la calidad del agua puede mejorar a lo largo de la corriente de un río por procesos de descomposición (10).

- Reciclaje de agua y su reutilización

La reutilización o reciclaje de agua afecta a la huella hídrica gris. Cuando el agua es totalmente reciclada o reutilizada para el mismo u otro propósito, después de su tratamiento si éste es necesario, y no hay efluentes al medio ambiente, la huella hídrica gris se considera nula. Sin embargo, si al cabo de un tiempo o sucesiva reutilización del agua acaba siendo eliminada en el medio ambiente, habrá una huella hídrica gris relacionada con la calidad del efluente (10).

- Tratamiento de aguas residuales

Cuando las aguas residuales son tratadas antes de verterlas en el medio ambiente, disminuye la concentración de los contaminantes en el efluente final, por lo que se reduce la huella hídrica gris. Cabe señalar que la huella hídrica gris

de un proceso depende de la calidad del efluente como se devuelva finalmente al medio ambiente, y no de su calidad antes del tratamiento (10). El tratamiento de aguas residuales puede tener una huella hídrica gris igual a cero cuando las concentraciones de contaminantes en el efluente son iguales o inferiores a las concentraciones en el agua, en el momento de su extracción. El proceso de tratamiento de aguas residuales en sí mismo tiene una huella hídrica azul cuando la evaporación se lleva a cabo durante el proceso de tratamiento en las cuencas abiertas (10).

- Efecto de la evaporación en la calidad del agua

Una forma específica de "contaminación" puede producirse cuando la calidad del agua se deteriora como consecuencia de la evaporación. Cuando una parte de un flujo de agua se evapora, las concentraciones de productos químicos en el flujo de agua restante se incrementan (10). Es un tipo de contaminación diferente al caso en que los seres humanos añaden sustancias químicas al agua, pues esta contaminación se produce cuando las sustancias que naturalmente están en el agua se concentran como resultado de la evaporación.

1.3.5. Huella Hídrica Total.

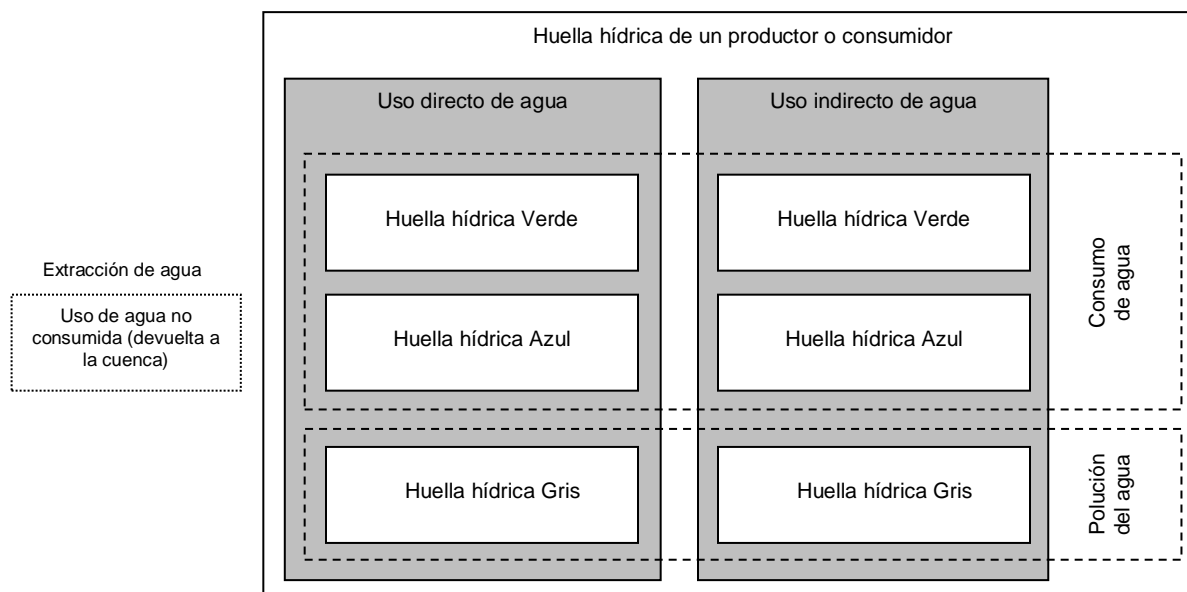
La huella hídrica total de un producto, grupo colectivo o región geográficamente delimitada está compuesta por la huella hídrica verde, azul y gris de dicho producto, grupo o región. Sin embargo la mayoría de los estudios solo tienen en cuenta el componente de agua verde y azul. La huella hídrica gris adquiere más importancia en el análisis de descargas de procesos, o cuando se involucran plantas de tratamiento de agua.

La huella hídrica total se calcula según la Ecuación 4.

$$HH_{Total} = HH_{Azul} + HH_{Verde} + HH_{Gris} \quad (4)$$

En la Figura 1 se muestra una representación esquemática de los componentes de la huella hídrica. Es necesario resaltar que la parte no consumida de la extracción de agua (devuelta a la cuenca) no es parte de la huella hídrica. También se muestra en la Figura 1 que, además de medir la extracción de agua, la huella hídrica incluye agua azul, verde y gris y un componente indirecto del uso del agua.

Figura 1. Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica



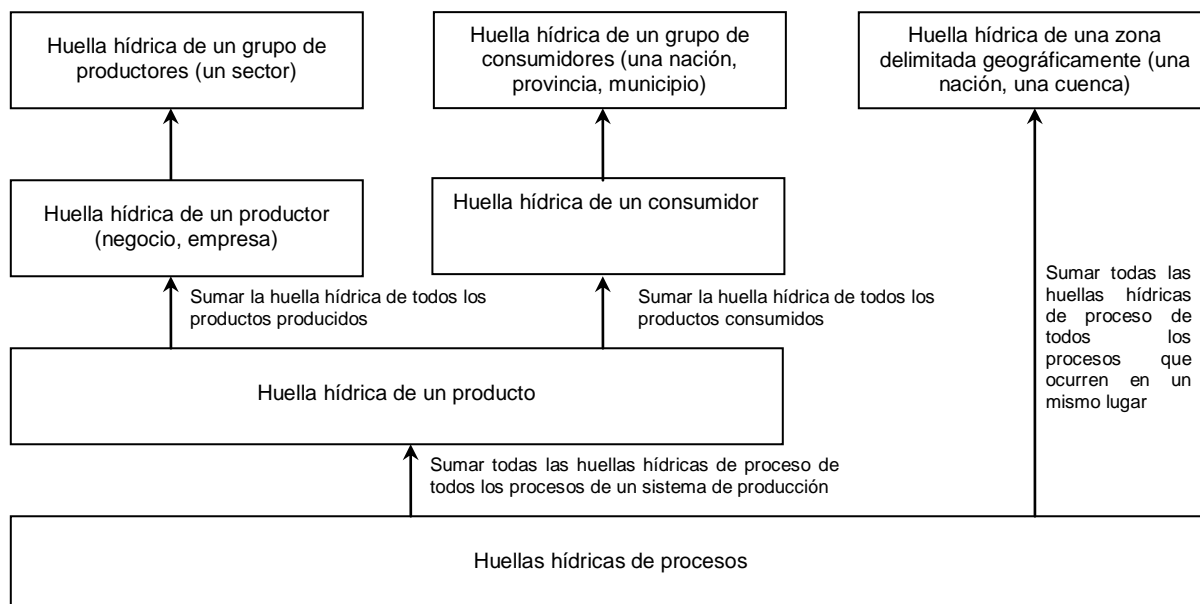
Fuente: Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Londres. Washington, DC.: Earthscan.

Como indicador del uso del agua, la huella hídrica se diferencia de la medida clásica de extracción de agua en tres puntos (10):

- No incluye el uso de agua azul en la medida en que esta agua se devuelve a su lugar de procedencia.
- No se limita al uso del agua azul, pues también incluye el agua verde y gris.
- No se limita al uso directo de agua, sino que también incluye su uso indirecto.

La huella hídrica de un proceso es el componente básico para todas las cuentas de huellas hídricas, como se muestra en la Figura 2. Por lo anterior, la huella hídrica se expresa en términos de volumen de agua por unidad de producto o como volumen de agua por unidad de tiempo.

Figura 2. La huella hídrica de un proceso como el componente básico de todas las huellas hídricas



Fuente: Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Londres. Washington, DC.: Earthscan.

La huella hídrica de un proceso se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo. Si se divide por la cantidad de producto que resulta del proceso, también se podrá expresar como el volumen de agua por unidad de producto. Una huella hídrica de producto se expresa siempre en términos de volumen de agua por unidad de producto (por lo general m^3/ton o litro/kg). La huella hídrica de un consumidor o un productor al igual que la huella hídrica dentro de un espacio determinado siempre se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo. La huella hídrica se podrá expresar por día, mes o año dependiendo del nivel de detalle que se deba proporcionar (10).

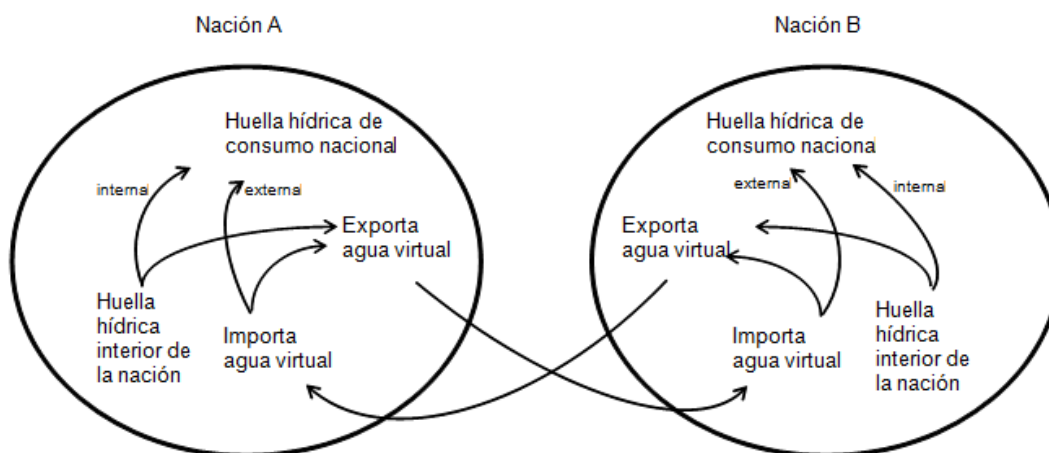
La huella hídrica de un producto intermedio o de un producto final (bien sea de consumo o servicio) es el conjunto de las huellas hídricas de las distintas etapas relevantes del proceso en la producción del producto (10), es el volumen de agua dulce que se usa para obtener el mismo, medido en toda la cadena de suministro (7). Las Huellas Hídricas han sido calculadas para una amplia gama de productos, incluido el algodón (15), té y café (18), arroz (19), salsa para pastas (16), mango (20) y tomates españoles (14), por nombrar algunos. Además, la huella hídrica en el nivel de marca de producto tiene el potencial para sustentar productos ecológicos (21).

Zimmer & Renault (2003), estimaron que la cantidad total de agua que se utiliza en el planeta para producir todo tipo de alimentos es de unos $5.200 km^3/año$, y de esa cantidad el 29% se utiliza para producir carne, un 17% para la producción de productos animales elaborados; los cereales sólo suman el 23% (13). La mayoría

de las huellas hídricas son la suma de más de una forma de consumo de agua, entre agua azul, verde y gris, desde ubicaciones que difieren en términos de escasez de agua, por lo que las huellas hídricas de los diferentes productos no son comparables (16).

La huella hídrica de una nación no muestra sólo el uso del agua en el país considerado, sino también los usos del agua por fuera del país (2). En la Figura 3 se muestra la relación entre la huella hídrica del consumo nacional y la huella hídrica dentro de una nación en un ejemplo simplificado de dos naciones que comercian. La huella hídrica "interna" del consumo nacional es igual a la huella hídrica dentro de la nación en la medida en que no está relacionada con la producción de productos de exportación. El huella hídrica "externa" del consumo nacional se puede encontrar analizando la importación de productos (y por lo tanto el agua en forma virtual) y la huella hídrica asociada en el país exportador (10).

Figura 3. Relación entre la huella hídrica de consumo nacional y la huella hídrica dentro de una nación



Fuente: Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Londres. Washington, DC.: Earthscan.

Dado el aumento en los flujos de comercio internacional, las huellas hídricas de las personas son cada vez más exteriorizadas a otras partes del mundo. Los consumidores generalmente no pagan por los efectos negativos de sus huellas hídricas, y tampoco los efectos negativos de la contaminación se toman en cuenta en el precio de los productos (2). Las personas en los Estados Unidos tienen, en promedio, la mayor huella hídrica per cápita en el mundo, es decir $2.480 \text{ m}^3/\text{año}$. China tiene una huella hídrica promedio de $700 \text{ m}^3/\text{año}$ per cápita, mientras que el promedio mundial es de $1.240 \text{ m}^3/\text{año}$ per cápita (2). En la Tabla 1 se presenta el valor de huellas hídricas del sector doméstico para países como Estados Unidos, India, Italia y España.

Tabla 1. Huella Hídrica del sector doméstico para España, Italia, EE.UU, e India

	España	Italia	EE.UU	India
Población (10⁶)	40.5	57.7	280.3	1,007.40
	Abastecimiento Urbano			
km3/año	4.2	8	60.8	38.6
m3/año/persona	105	136	217	38

Fuente: Llamas Madurga, R. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. 99 (2).

La primera evaluación preliminar de la huella hídrica de una Nación fue realizada por Hoekstra y Hung (2002) (14). Este estudio utilizó el volumen de agua azul en una nación como una medida del uso del agua de los recursos internos, agregado a la importación neta de agua virtual relacionada con el comercio internacional de un número limitado de cultivos principales. Una evaluación más extensa fue realizada posteriormente por Chapagain y Hoekstra (2003), en la cual se incluye el comercio internacional de animales y productos animales (14).

La huella hídrica ofrece una perspectiva más amplia sobre cómo un consumidor o productor afecta el uso de sistemas de agua dulce. Se trata de una medida volumétrica del consumo de agua y su contaminación. Lo que no mide es la gravedad de los efectos locales en el medio ambiente del consumo de agua y su contaminación. El impacto local del medio ambiente de una cierta cantidad de consumo de agua y su contaminación depende de la vulnerabilidad del sistema de agua local y el número de consumidores y contaminadores de agua que hagan uso del mismo (10).

La huella hídrica representa una información explícita a lo largo del tiempo y del espacio sobre cómo el agua es apropiada para diversos fines humanos. Por ello no sólo puede inspirar un debate sobre el uso del agua sostenible y equitativo, sino también sentar una buena base para la evaluación local de sus impactos ambientales, sociales y económicos (10).

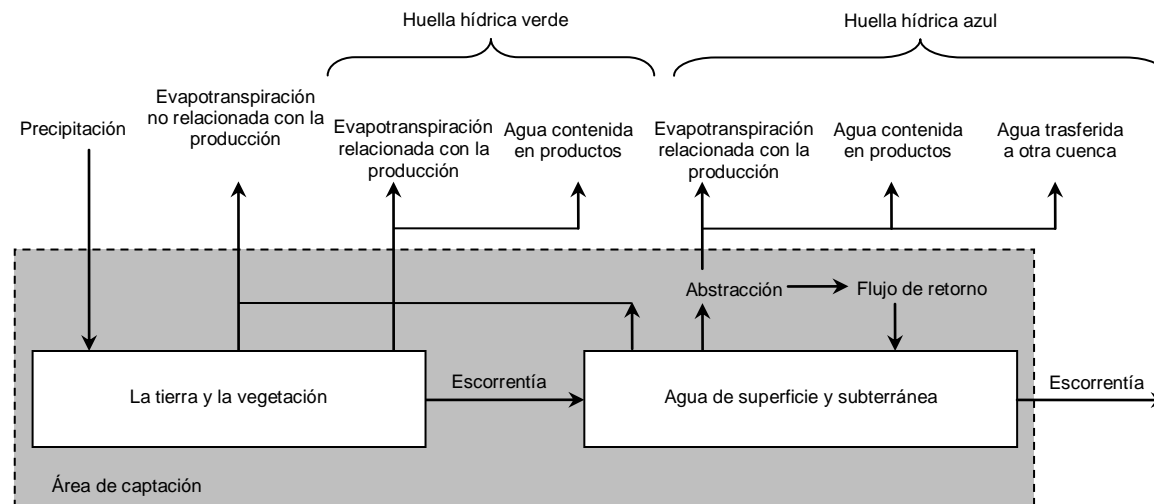
- **Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica**

La huella hídrica en una zona geográfica se define como el consumo y contaminación total de agua dulce dentro de los límites de dicha área. Por lo anterior es fundamental definir claramente los límites de la zona en cuestión. El área puede ser una zona de captación, una cuenca hidrográfica, un estado, provincia o nación o cualquier otra unidad espacial hidrológica o administrativa (10).

Una cuenca hidrográfica es toda el área geográfica drenada por un río y sus afluentes. Se considera que toda la escorrentía de una cuenca proviene del mismo origen (10). Otros términos utilizados a menudo para el concepto de "cuenca" son

la cuenca de drenaje, un área de drenaje o cuencas hidrográficas. La disponibilidad total anual de agua en un área de drenaje viene dada por el volumen anual de precipitaciones. Por lo general el caudal total del agua de una cuenca, es decir, su precipitación anual, deja la cuenca de nuevo, en parte, a través de la evapotranspiración y en parte a través de la escorrentía de la misma (10). Tanto el flujo de evaporación como la escorrentía pueden ser usados por los seres humanos. La huella hídrica verde se refiere al uso humano de los flujos de evaporación de la superficie de la tierra, sobre todo para los cultivos o la producción forestal, como se muestra en la Figura 4. La huella hídrica azul se refiere al consumo de la escorrentía de agua, es decir, la captación de la escorrentía de la cuenca en la medida en que no vuelve a la cuenca en forma de flujo de retorno.

Figura 4. Huella hídrica verde y azul en relación con el balance hídrico de una cuenca hidrográfica



Fuente: Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Londres. Washington, DC.: Earthscan.

Históricamente, la humanidad ha utilizado los flujos de escorrentía, tanto como fuente de agua dulce como drenaje de su alcantarillado. Existe un límite de utilización de los flujos de escorrentía como suministro o sumidero de aguas. El volumen de escorrentía total tiene una capacidad limitada como componente de procesos o como residuos (10). La huella hídrica azul muestra el volumen que ha sido efectivamente retirado del flujo de escorrentía total, por lo que muestra la "capacidad de apropiación del suministro". La huella hídrica gris muestra la "capacidad apropiada de asimilación de desechos" (10).

La ventaja de la medición de la contaminación del agua en términos de volúmenes de agua apropiada es que las diferentes formas de contaminación son presentadas con un común denominador: el volumen total de agua apropiado para la asimilación de desechos (10). Además, cuando la contaminación del agua se

expresa en los mismos términos que el consumo de agua, se puede comparar el uso de la escorrentía como fuente de suministro (la huella hídrica azul) al uso de la escorrentía como producto de desecho (la huella hídrica gris).

La máxima huella hídrica permitida en la cuenca de un río en un período determinado del año depende de la disponibilidad de agua natural y las necesidades ambientales de agua en esa cuenca en ese período del año (2).

En el análisis de la huella hídrica de una cuenca es necesario tener en cuenta la transferencia de agua entre cuencas, pues la disponibilidad del recurso puede variar de acuerdo a este parámetro.

Una transferencia de agua entre dos o más cuencas es la captación de agua de una cuenca hidrográfica A que se mueve (a través de tuberías, canales o transporte a granel, por ejemplo, camión o barco) a otra cuenca B. De acuerdo con la definición de huella hídrica azul, llevarse el agua fuera de una cuenca hidrográfica constituye una huella hídrica azul en lo que respecta a esa cuenca, porque es "un uso del agua para consumo" (10).

La huella hídrica azul de la transferencia total se asignará a los beneficiarios del agua de la cuenca receptora (10). Así, los procesos en la cuenca B que hagan uso del agua de otra cuenca A, atraen una huella hídrica azul radicada en la cuenca A, cuyo tamaño es igual a la cantidad de agua que reciban más las posibles pérdidas de agua por el camino. Si los usuarios de dicha agua que recibe B devuelven parte de esa agua al caudal de su propia cuenca, se considera que esta agua se ha "añadido" a los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas de B. Este "añadido" de agua puede compensar la huella hídrica azul de los usuarios que han consumido agua de la cuenca B, y en ese sentido se puede argumentar que la transferencia de agua entre cuencas crea una "huella hídrica negativa azul" en la cuenca de recepción (en la medida en que el agua no se evapora y de hecho se suma al sistema de agua de la cuenca de recepción) (10).

La práctica de las transferencias de agua entre cuencas no es reciente, pero la escala de las propuestas actuales en términos de volúmenes y distancia de transferencia se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Actualmente hay 155 planes de transferencia de agua entre cuencas en el mundo, que abarcan 26 países, con una capacidad total de transferencia de 490 millones m³/año (2).

Los planes de transferencia de agua a gran escala entre cuencas son cada vez más posibles técnicamente, y económica y políticamente viables, pero la naturaleza de las transferencias de agua a gran escala tiene impactos importantes sobre los ambientes naturales, las sociedades de suministro y las regiones receptoras. La región que recibe agua a través de una transferencia entre cuencas

beneficia el suministro de agua, pero la región proveedora tiene que ser compensada, ya sea en forma de dinero, energía, alimentos u otra cosa (2).

Los estudios referentes a huellas hídricas de cuencas hidrográficas son muy escasos y se enfocan en un solo sector económico, normalmente el sector agrícola.

El estudio más representativo referente a la huella hídrica en una cuenca hidrográfica es *Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadiana River Basin* (8). Dado que la agricultura es el sector que utiliza más agua en la cuenca del río Guadiana (95%), el estudio se centra principalmente en el uso del agua en este sector específico. El área de cultivo de la cuenca es de 26,000 km², la cual representa el 47% del área total (8). El segundo usuario de agua en la cuenca es el sector doméstico con menos del 5% del agua usada para la agricultura (22). El sector industrial es el de menor uso de agua, y el que representa el valor económico más alto en la cuenca, sin embargo la agricultura también es una actividad económica importante en la cuenca del río Guadiana (22).

En el estudio se determina el consumo de agua azul y verde de los cultivos más representativos en la cuenca, y se comparan con los valores de huella hídrica obtenida por otros autores para dichos cultivos. Se presenta una dispersión de datos correspondientes a 100% en ciertos casos que pueden resultar de las diferentes metodologías utilizadas. En general, los cálculos para los requerimientos de agua de cultivo se basan en la ecuación de la FAO de Penman-Monteith y el modelo de CROPWAT, mientras que las cifras dadas por la CHG y SIAR se basan en el modelo de Thornthwaite y la ecuación de la FAO de Penman-Monteith respectivamente (8).

En el estudio también se realiza una aproximación para determinar la huella hídrica total de la cuenca, teniendo en cuenta el sector agrícola, ganadero, doméstico e industrial. Estos valores de huella hídrica se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Huella hídrica interna en la cuenca del río Guadiana

Población	Huella Hídrica relacionada con la producción	Verde	Azul	Total	Per cápita
		10 ⁶ m ³ /año			m ³ /año/persona
1.417.810	Agricultura	2.212	1.827	4.039	2.849
	Ganadería	-	22	22	16
	Doméstico	-	130	130	91
	Industrial	-	20	20	14
	Total	2.212	1.999	4.211	2.970

Fuente: World Water Assessment Programme. (2009). *Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadiana River Basin*. París.

2. METODOLOGÍA

El cálculo de la Huella Hídrica involucra toda una gama de actividades para cuantificar en el espacio y el tiempo los diferentes usos del agua en una zona geográfica específica. En este caso la zona de estudio es la cuenca hidrográfica del río Porce.

El cálculo se realizó únicamente para el sector doméstico y no se consideró el aporte por agua verde, ya que este es despreciable con respecto a los aportes de agua azul y gris.

Inicialmente se realizó la recopilación y el análisis de la información disponible sobre el tema de la huella hídrica y las aproximaciones metodológicas que existen para cuencas hidrográficas, lo cual se presenta en el Capítulo 1. Posteriormente se priorizaron los subsectores a analizar al interior de la cuenca. Se realizó la búsqueda de la información relevante para la determinación de la huella hídrica en los subsectores priorizados, con lo que se consolidó una base de datos, y finalmente se realizó el cálculo de la huella hídrica para el sector doméstico en la cuenca del río Porce.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Lo primero que se realizó antes de cualquier actividad fue la determinación del área de estudio. Como se mencionó anteriormente la zona de estudio es la cuenca hidrográfica del río Porce.

La cuenca del río Porce tiene un área de 5.248 km² y se encuentra localizada en el departamento de Antioquia, sobre la cordillera Central colombiana. El nacimiento de su cauce principal está definido por el río Aburrá, que nace en el alto de San Miguel en el municipio de Caldas, atraviesa diez municipios y se une al río Grande en Puente Gabino, cambiando de nombre a río Porce, el cual, tras un recorrido total de 252 km vierte sus aguas al río Nechí en el municipio de Zaragoza. La topografía de la cuenca es irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 80 y 3.340 msnm (23). En la Figura 5 se presenta la localización de la cuenca.

El área de la cuenca comprende 29 municipios, los cuales están total o parcialmente contenidos en ella, como se muestra en la Tabla 3.

Figura 5. Localización de la cuenca del río Porce



Fuente: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). *Resumen de Resultados: Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce*. Medellín, Mayo 2013.

Tabla 3. Municipios incluidos en la Cuenca del Río Porce

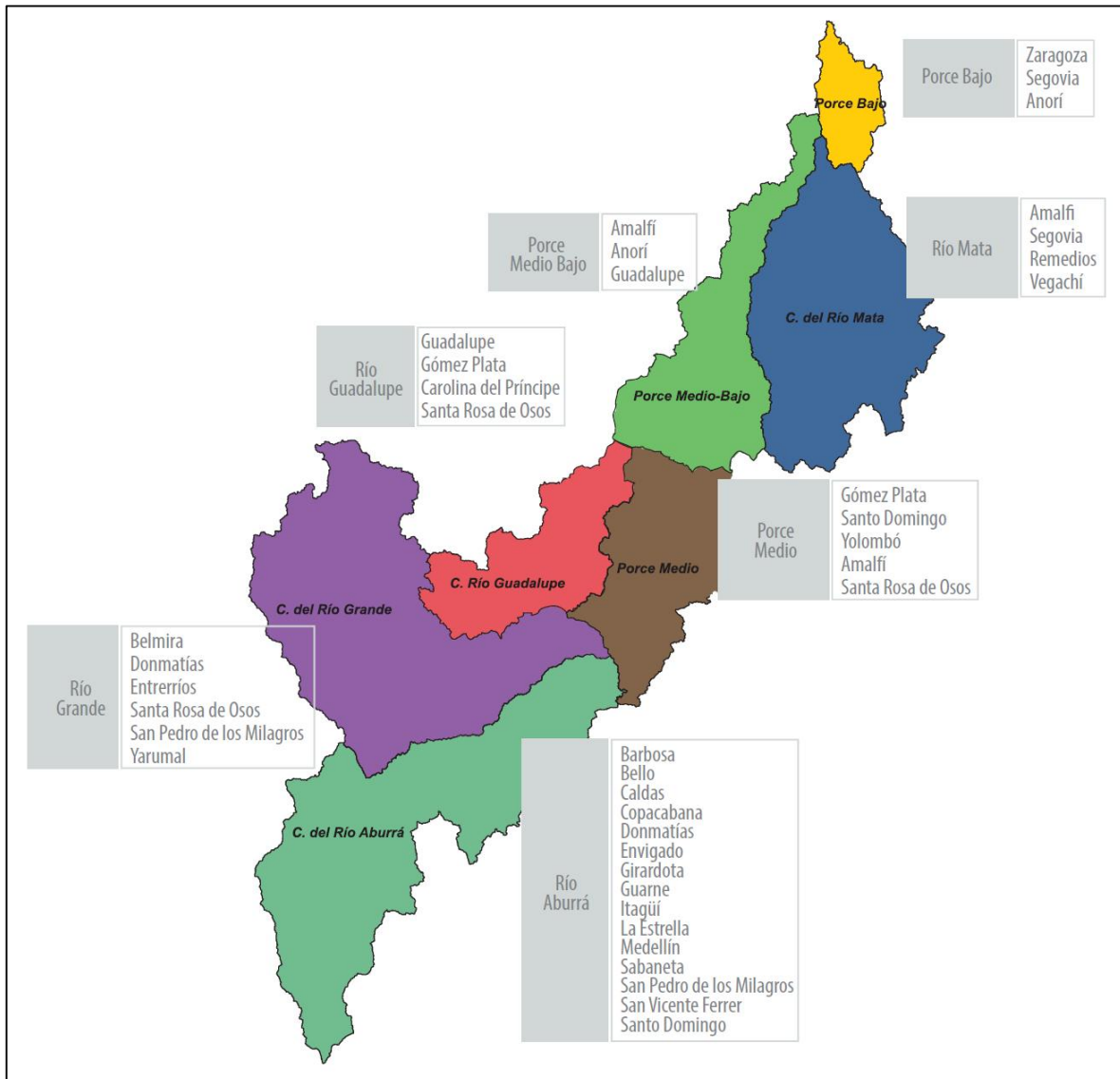
Municipio	Área total municipal (km ²)	Área dentro de la cuenca (km ²)	% Área dentro de la cuenca (%)
Don Matías	197,96	197,96	100
Entrerriós	215,54	215,54	100
Gómez Plata	326,02	326,02	100
Itagüí	19,61	19,61	100
Sabaneta	16,46	16,46	100
Girardota	83,46	83,36	99,8
Copacabana	68,35	68,15	99,7
La Estrella	34,16	34,01	99,5
Barbosa	205,06	203,64	99,3
Bello	139,59	138,4	99,1
Amalfi	1213,04	1141,16	94,1
Belmira	297,88	269,85	90,6
Medellín	373,58	315,49	84,4
Santa Rosa de Osos	850,96	718,12	84,4
Caldas	136,28	102,86	75,5
San Pedro de los Milagros	244,04	174,01	71,3
Envigado	79,03	46,57	58,9
Carolina del Príncipe	163,58	85,33	52,2
Guadalupe	115,12	49,03	42,6
San Vicente Ferrer	229,47	69,75	30,4
Santo Domingo	274,28	77,08	28,1
Guarne	152,49	34,89	22,9
Yolombó	942,48	201,98	21,4
Anorí	1418,77	232	16,3
Remedios	1990,09	194,36	9,8
Segovia	1238,84	101,66	8,2
Zaragoza	1052,16	78,46	7,5
Vegachí	533,15	32,95	6,2
Yarumal	732,67	13,66	1,9

Fuente: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). *Resumen de Resultados: Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce*. Medellín, Mayo 2013.

En cuanto a la división hidrográfica, el área de estudio está compuesta por cuatro subcuencas independientes, que son la cuenca del río Aburrá, cuenca del río Grande, cuenca del río Guadalupe y cuenca del río Mata, y por tres áreas hidrográficas diferenciables en el cauce central: Porce medio, Porce medio – bajo

y Porce bajo (23). En la Figura 6 se presentan las subcuencas y áreas hidrográficas de la cuenca del río Porce y los municipios que las conforman.

Figura 6. Subcuencas y áreas hidrográficas en la cuenca del río Porce y los municipios que las conforman



Fuente: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). *Resumen de Resultados: Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce*. Medellín, Mayo 2013.

Las autoridades ambientales que tienen jurisdicción en esta cuenca son CORANTIOQUIA, CORNARE, y AMVA.

La cuenca del río Porce alberga una serie de actividades económicas y sociales que requieren el uso intensivo del agua para su desarrollo, lo que genera tensiones sociales en su interior y llevan a la necesidad de profundizar en el

conocimiento de la situación actual, para aprovechar de la forma más eficiente y sostenible la riqueza natural de la cuenca (23).

Según los usos del agua, la cuenca se puede dividir en tres tramos de acuerdo a las actividades que se realizan en cada uno de ellos y a las características propias del río (23).

El primer tramo corresponde al río Aburrá, y va desde el nacimiento del río Aburrá hasta el municipio de Barbosa, área donde se ubica la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá. En este tramo se han desarrollado diferentes sectores económicos tales como el agropecuario, industrial, minero y el consumo doméstico (en el que se concentra más del 80% de la población de la cuenca) (23). Tanto el río como sus afluentes, son principalmente usados como cuerpos receptores del vertimiento de las aguas residuales generadas en los procesos que se desarrollan en la cuenca.

El segundo tramo, incluye la cuenca del río Grande y continúa desde el punto en que el río Aburrá cambia su nombre por el de río Porce y va hasta la desembocadura del río Guadalupe en el río Porce. En esta zona se evidencia una gran actividad agropecuaria, junto con un aumento en la capacidad de asimilación de los contaminantes que vienen desde el Valle de Aburrá por la incorporación de un caudal importante aportado por los ríos Grande y Guadalupe (23).

El tercer tramo está comprendido entre el complejo hidroeléctrico de Porce III y el punto de descarga del río Porce en el río Nechí, y corresponde a un área que tradicionalmente ha combinado sectores como el hidroeléctrico, el agropecuario y el minero (23). En el caso del sector doméstico, la densidad demográfica es baja por lo que este no es un sector crítico de consumo de agua.

2.2. PRIORIZACIÓN DE SUBSECTORES

El análisis se realizó por municipios y sólo se consideraron los que tienen su cabecera municipal al interior de la cuenca, lo cual corresponde a los municipios que presentan un porcentaje de área dentro de la cuenca mayor al 40%.

Por lo anterior se priorizaron 19 municipios para el análisis: Amalfi, Barbosa, Bello, Belmira, Caldas, Carolina del Príncipe, Copacabana, Don Matías, Entreríos, Envigado, Girardota, Gómez Plata, Guadalupe, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta, Santa Rosa de Osos y San Pedro de los Milagros.

2.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó una revisión preliminar de la información disponible para cada municipio referente a la población asentada en el área de estudio, los consumos para uso doméstico, concentraciones de contaminantes, vertimientos, pérdidas, plantas de potabilización y plantas de tratamiento de agua residual, entre los años 2005 y 2012.

La mayoría de la información preliminar se encontró en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI) (24). El SUI es un sistema que busca unificar y consolidar la información proveniente de los prestadores de servicios públicos (25). En el SUI se pueden encontrar los consumos facturados en m³ por municipios, al igual que información referente a la captación de agua, potabilización, distribución, tratamiento de aguas residuales y vertimientos. La mayoría de los datos utilizados para el cálculo de la huella hídrica provienen del SUI, sin embargo para algunos municipios el SUI no reporta información, por lo que se recurrió a los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) y a los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) de cada municipio para buscar la información faltante.

Toda la información recopilada se consolidó en una base de datos, presentada en el ANEXO I. Es de aclarar que para los diez municipios que conforman el área metropolitana del Valle de Aburrá (Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín y Sabaneta) la información se encuentra de manera consolidada, por lo que se toman como una unidad para efecto de realizar los cálculos.

2.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA.

2.4.1. Procesamiento de la Información.

Se construyó un sistema de información que permitió realizar todos los análisis requeridos. Dicho sistema de información se presenta en el ANEXO II. Para esto se organizaron y tabularon todos los datos encontrados y se generó la información base especial para la caracterización de la cuenca.

Para el cálculo de la huella hídrica se siguió la metodología propuesta por Hoekstra et al. en *The Water Footprint Assessment Manual* (10).

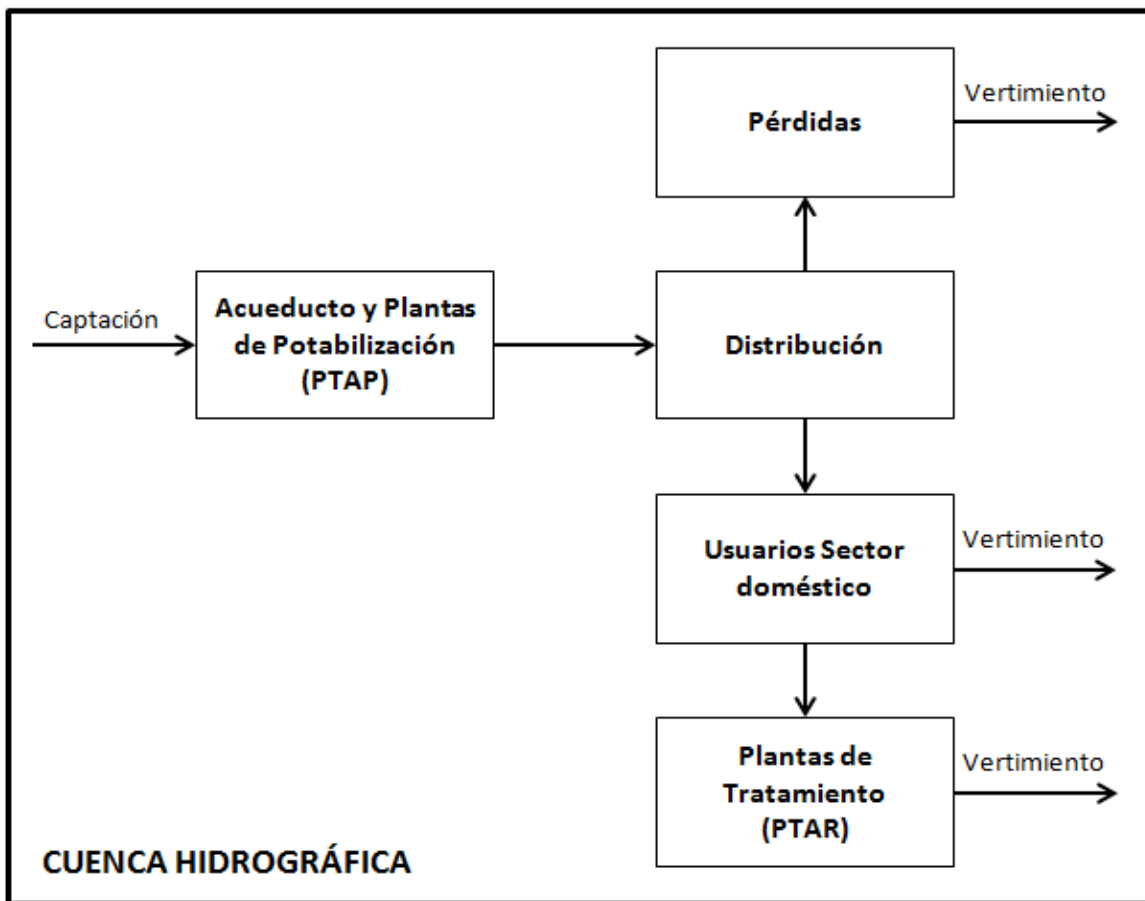
2.4.2. Huella Hídrica en la cuenca del río Porce.

La huella hídrica en una zona geográficamente delimitada corresponde a la sumatoria de las huellas hídricas de todos los procesos que ocurren en dicha zona y esto a su vez equivale a la suma de la huella hídrica azul y la huella hídrica gris total en la cuenca (Ecuación 5).

$$HH_{Cuenca} = \sum_q HH_{proceso\ q} = HH_{Azul\ Total} + HH_{Gris\ Total} \quad (5)$$

En la Figura 7 se presenta un diagrama de los procesos que ocurren al interior de la cuenca en el sector doméstico, basado en la metodología propuesta por el Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana.

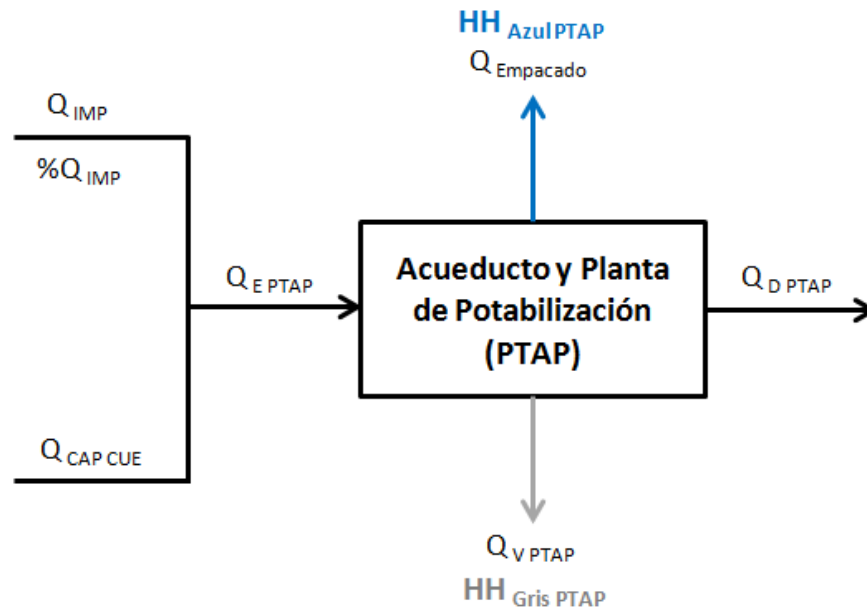
Figura 7. Diagrama de los procesos que ocurren en la cuenca para el sector doméstico



Fuente: Elaboración Propia

En las Figuras 8-12 se presentan en detalle cada uno de los procesos que ocurren al interior de la cuenca con las variables relevantes para el cálculo de la huella hídrica.

Figura 8. Acueducto y Planta de Potabilización (PTAP)



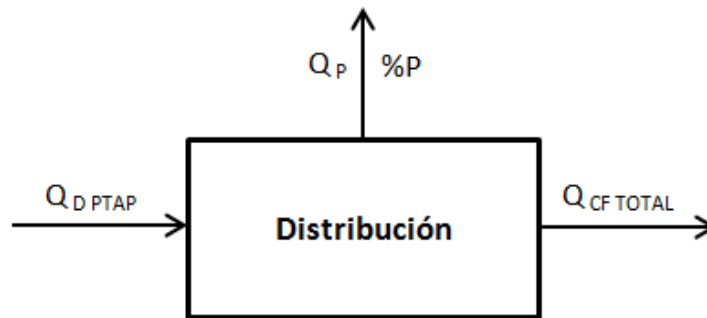
Fuente: Elaboración Propia

No toda el agua captada proviene de la misma cuenca, por lo tanto es necesario diferenciar entre la cantidad de agua importada y la cantidad de agua captada en la cuenca. El agua importada corresponde a una transferencia de agua entre cuencas, y se denomina agua transvasada. El agua captada es potabilizada para su posterior distribución y consumo. En algunos casos, específicamente en el Área Metropolitana se empaqueta una porción del agua tratada, lo que genera una huella hídrica azul para la PTAP (Ecuación 6). De igual forma, los vertimientos resultantes del personal que opera la planta y del lavado de los filtros generan una huella hídrica gris para la PTAP (Ecuación 7). La Huella hídrica gris se debe calcular para cada uno de los contaminantes a analizar.

$$HH_{Azul PTAP} = Q_{Empacado} \quad (6)$$

$$HH_{Gris i PTAP} = \frac{(Q_{V PTAP} \times C_{i V PTAP}) - (Q_{CAP CUE} \times C_{i E PTAP})}{C_{máx i} - C_{nat i}} \quad (7)$$

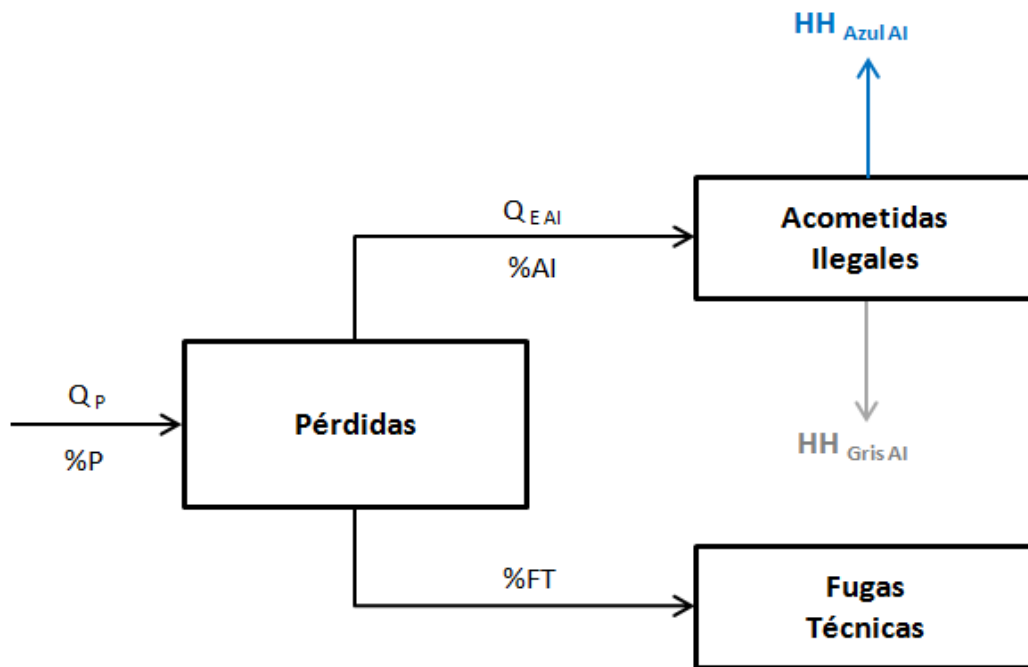
Figura 9. Distribución de agua



Fuente: Elaboración Propia

Una vez el agua ha sido potabilizada pasa a las redes de distribución, sin embargo no toda el agua distribuida llega a los usuarios debido a las pérdidas propias del sistema de distribución.

Figura 10. Pérdidas en el Sistema de Distribución



Fuente: Elaboración Propia

No todas las pérdidas en el sistema de distribución son debidas a fugas técnicas; un porcentaje importante de pérdidas se debe a las acometidas ilegales. Aunque la mayor parte del agua distribuida llega a los usuarios, se desconoce exactamente qué pasa con los aportes provenientes de las pérdidas en la

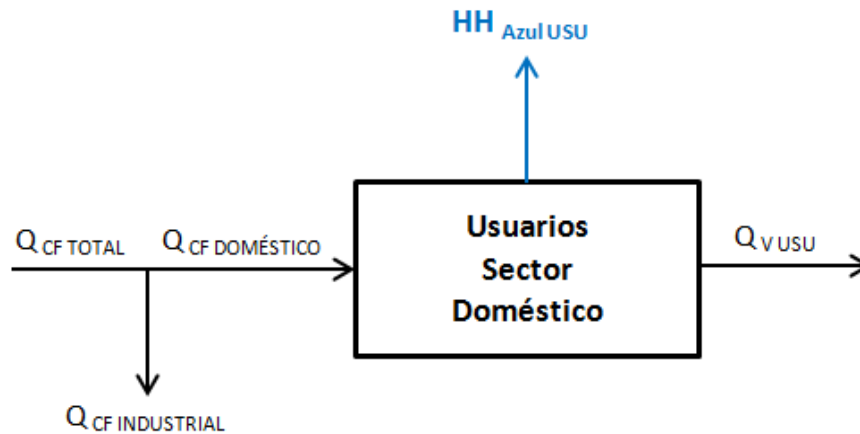
distribución, específicamente por acometidas ilegales, cuyo uso podría ser incluso de tipo industrial. Por lo tanto se deben asumir aportes tanto en huella hídrica azul (Ecuación 8) como en huella hídrica gris (Ecuación 9). Se asume que el 10% de las acometidas ilegales corresponden a aportes a la huella hídrica azul, y el 90% restante en vertimientos (Ecuación 10), que aportan a la huella hídrica gris.

$$HH_{Azul AI} = 0.1 \times Q_{E AI} \quad (8)$$

$$HH_{Gris i AI} = \frac{Q_{V AI} \times C_{i V AI}}{C_{máx i} - C_{nat i}} \quad (9)$$

$$Q_{V AI} = 0.9 \times Q_{E AI} \quad (10)$$

Figura 11. Usuarios del Sector Doméstico



Fuente: Elaboración Propia

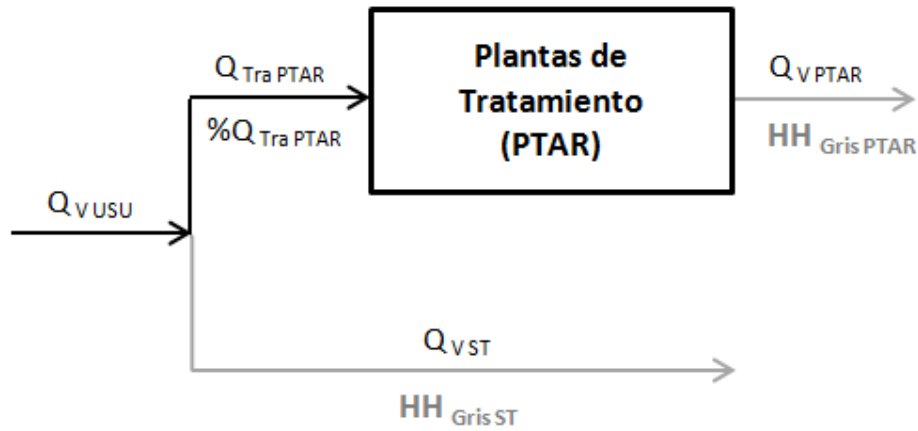
La mayor parte del agua distribuida llega a los usuarios y es facturada por la empresa de servicios públicos. Los consumos facturados pueden ser residenciales (Estratos socioeconómicos del 1 al 6) o no residenciales (Comercial, Oficial, Industrial, Otros); en el primer caso todos los consumos facturados corresponden al sector doméstico, mientras en el segundo caso es necesario excluir los consumos facturados correspondientes a la categoría industrial, pues esta no hace parte del sector doméstico. Como no se especifica a que corresponde la categoría Otros, se decidió tenerla en cuenta en el análisis del sector doméstico.

Una porción del agua facturada es consumida por los usuarios, aportando a la huella hídrica azul (Ecuación 11), y otra porción es vertida. Como no se conoce con exactitud la cantidad de agua consumida por los usuarios, se asume que el 10% del agua facturada en el sector doméstico corresponde al aporte a la huella hídrica azul. El 90% restante corresponde a los vertimientos (Ecuación 12).

$$HH_{Azul\ USU} = 0.1 \times Q_{CF\ DOMÉSTICO} \quad (11)$$

$$Q_{V\ USU} = 0.9 \times Q_{CF\ DOMÉSTICO} \quad (12)$$

Figura 12. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración Propia

Una parte del agua vertida por los usuarios es llevada a plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el resto es vertido sin tratar, lo cual implica un aporte a la huella hídrica gris (Ecuación 13). Finalmente en la PTAR se remueve parte de la carga contaminante y el agua tratada se vierte nuevamente, generando otro aporte a la huella hídrica gris (Ecuación 14).

$$HH_{Gris\ i\ ST} = \frac{Q_{V\ ST} \times C_{i\ V\ ST}}{C_{máx\ i} - C_{nat\ i}} \quad (13)$$

$$HH_{Gris\ i\ PTAR} = \frac{Q_{V\ PTAR} \times C_{i\ V\ PTAR}}{C_{máx\ i} - C_{nat\ i}} \quad (14)$$

Teniendo en cuenta los aportes de cada proceso a la huella hídrica azul y a la huella hídrica gris de la cuenca, se pueden calcular las huellas hídricas azul y gris totales de la cuenca en términos de dichos aportes (Ecuaciones 15, 16 y 17). Se debe calcular la huella hídrica gris total por componente (Ecuación 18) para determinar la huella hídrica gris total.

$$HH_{Azul\ Total} = HH_{Azul\ Positiva} - Agua\ Transvasada \quad (15)$$

$$HH_{Azul\ Positiva} = HH_{Azul\ PTAP} + HH_{Azul\ AI} + HH_{Azul\ USU} \quad (16)$$

$$HH_{Gris\ Total} = MAX(HH_{Gris\ i\ Total}) \quad (17)$$

$$HH_{Gris\ i\ Total} = HH_{Gris\ i\ PTAP} + HH_{Gris\ i\ AI} + HH_{Gris\ i\ ST} + HH_{Gris\ i\ PTAR} \quad (18)$$

Es necesario mencionar que tanto en las plantas de potabilización como en las plantas de tratamiento de aguas residuales se generan aportes a la huella hídrica azul, debido al agua presente en los lodos generados, que posteriormente se evaporará. Sin embargo el análisis de estos aportes se realizó de manera separada para determinar que tan significantes son para el cálculo de la huella hídrica azul.

Para el cálculo de la huella hídrica gris fue necesario fijar las concentraciones naturales y las concentraciones máximas permisibles para los diferentes contaminantes seleccionados: DBO5, DQO, Sólidos suspendidos totales, Nitrógeno total, Fósforo, Cloruros y Sulfatos. Las concentraciones naturales fueron tomadas de un punto cercano al nacimiento del Alto de San Miguel (42). Para las concentraciones máximas permisibles se analizaron los valores estipulados en normas internacionales de calidad del agua, y los valores estipulados por los Objetivos de Calidad para el río Aburrá – Medellín (43). Los valores fijados para las concentraciones naturales y las concentraciones máximas permisibles se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones naturales y Concentraciones máximas permisibles

	C _{nat} (mg/l)	C _{máx} (mg/l)			
		Normas Internacionales	Objetivos de calidad 0-2 años	Objetivos de calidad 2-5 años	Objetivos de calidad 5-10 años
DBO₅	1	5	50	40	32,5
DQO	6,1	-	80	70	65
SST	1,24	25	195	140	110
NTK	0,01	30	6,75	5,25	3,25
Fosforo	0,001	0,1	2	1,5	1,05
Cloruros	0,161	250	-	-	-
Sulfatos	16,3	500	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Las normas internacionales fijan los valores de concentración requeridos para que el agua sea apta para consumo.

Los Objetivos de Calidad tienen en cuenta los diferentes usos del recurso hídrico, diferenciando entre 7 tramos del río Aburrá – Medellín, y consideran 3 periodos de tiempo diferentes (0-2 años, 2-5 años y 5-10 años). Los valores reportados en la Tabla 4 corresponden al promedio entre las concentraciones reportadas para el

tramo 3 y el tramo 4. Se eligió un promedio entre estos tramos debido a que son los tramos centrales del río Aburrá – Medellín y presentan niveles promedio de contaminación en relación con los demás tramos.

2.4.3. Determinación de variables implicadas en el cálculo de la huella hídrica.

Para determinar las variables implicadas en el cálculo se parte del consumo facturado, pues normalmente siempre se encuentra esta información. En el SUI se encuentran los consumos facturados residenciales y no residenciales, diferenciándolos en diferentes categorías: estratos socioeconómicos del 1 al 6, comercial, oficial, industrial y otros. También es necesario saber si se cuenta o no con planta de potabilización o plantas de tratamiento de aguas residuales, el caudal tratado en la planta de potabilización, si ésta existe, o en su defecto el caudal vertido por la planta, las horas de captación al día, el caudal importado, y el caudal empacado, de existir.

Se propone el siguiente algoritmo de cálculo para determinar las demás variables implicadas en el cálculo de la huella hídrica

- Usuarios Sector Doméstico y PTAR
 - i.* Calcular el consumo facturado del sector doméstico según la Ecuación 19.

$$Q_{CF\ DOMÉSTICO} = Q_{CF\ TOTAL} - Q_{CF\ INDUSTRIAL} \quad (19)$$

- ii.* ¿Se tiene información sobre el caudal vertido por los usuarios?

Si: Usar el valor del caudal vertido por los usuarios para calcular la huella hídrica azul de los usuarios (Ecuación 20).

$$HH_{Azul\ USU} = Q_{CF\ DOMÉSTICO} - Q_{V\ USU} \quad (20)$$

No: Suponer que el 10% del consumo facturado del sector doméstico equivale a la huella hídrica azul de los usuarios (Ecuación 11) y el 90% restante se vierte (Ecuación 12).

- iii.* ¿Se conoce el caudal que se vierte sin tratar?

Si: Se puede determinar la huella hídrica gris de los vertimientos sin tratar (Ecuación 13), El caudal tratado en la PTAR (Ecuación 21), el porcentaje de agua tratada en la PTAR (Ecuación 22), el caudal

vertido por la PTAR (Ecuación 23) y la huella hídrica gris de la PTAR (Ecuación 14).

$$Q_{Tra\ PTAR} = Q_{V\ USU} - Q_{V\ ST} \quad (21)$$

$$\%Q_{Tra\ PTAR} = \frac{Q_{Tra\ PTAR}}{Q_{V\ USU}} \times 100\% \quad (22)$$

$$Q_{V\ PTAR} = Q_{Tra\ PTAR} \quad (23)$$

No: ¿Se conoce el porcentaje de agua tratada en la PTAR?

Si: Determinar el caudal tratado en la PTAR (Ecuación 24), el caudal vertido sin tratar (Ecuación 25), el caudal vertido por la PTAR (Ecuación 23), la huella hídrica gris de los vertimientos sin tratar (Ecuación 13) y la huella hídrica gris de la PTAR (Ecuación 14).

$$Q_{Tra\ PTAR} = Q_{V\ USU} \times \%Q_{Tra\ PTAR} \quad (24)$$

$$Q_{V\ ST} = Q_{V\ USU} - Q_{Tra\ PTAR} \quad (25)$$

No: ¿Se conoce el caudal vertido por la PTAR?

Si: Determinar el caudal tratado en la PTAR (Ecuación 23), el porcentaje de agua tratada en la PTAR (Ecuación 22), el caudal vertido sin tratar (Ecuación 25), la huella hídrica gris de los vertimientos sin tratar (Ecuación 13) y la huella hídrica gris de la PTAR (Ecuación 14).

No: Fijar un valor para el porcentaje de agua tratada en la PTAR (30%) y determinar el caudal tratado en la PTAR (Ecuación 24), el caudal vertido sin tratar (Ecuación 25), el caudal vertido por la PTAR (Ecuación 23), la huella hídrica gris de los vertimientos sin tratar (Ecuación 13) y la huella hídrica gris de la PTAR (Ecuación 14).

- Distribución y Pérdidas

i. ¿Se conoce el porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución?

Si: Calcular el caudal correspondiente a las pérdidas (Ecuación 26) y el caudal distribuido (Ecuación 27).

$$Q_P = \frac{Q_{CF\ TOTAL} \times \%P}{100\% - \%P} \quad (26)$$

$$Q_{D\ PTAP} = Q_{CF\ TOTAL} + Q_P \quad (27)$$

No: ¿Se conoce el caudal distribuido?

Si: Calcular el porcentaje de pérdidas (Ecuación 28) y el caudal correspondiente a las pérdidas (Ecuación 26).

$$\%P = 1 - \frac{Q_{CF\ TOTAL}}{Q_{D\ PTAP}} \quad (28)$$

No: Fijar un valor para el porcentaje de pérdidas, calcular el caudal correspondiente a las pérdidas (Ecuación 26), y el caudal distribuido (Ecuación 27)

ii. ¿Se conoce el porcentaje de fugas técnicas?

Si: Calcular el porcentaje de acometidas ilegales (Ecuación 29), el caudal correspondiente a las acometidas ilegales (Ecuación 30), el caudal vertido correspondiente a las acometidas ilegales (Ecuación 10) y las huellas hídricas azul y gris de las acometidas ilegales (Ecuaciones 8 y 9).

$$\%AI = \%P - \%FT \quad (29)$$

$$Q_{E\ AI} = Q_P \times \%AI \quad (30)$$

No: Suponer un porcentaje de fugas técnicas del 10% y calcular el porcentaje de acometidas ilegales (Ecuación 29), el caudal correspondiente a las acometidas ilegales (Ecuación 30), el caudal vertido correspondiente a las acometidas ilegales (Ecuación 10) y las huellas hídricas azul y gris de las acometidas ilegales (Ecuaciones 8 y 9).

- Acueductos y PTAP

Se debe conocer el caudal que entra en la PTAP, el caudal vertido por la PTAP, o el caudal captado, diferenciando entre el agua importada y el agua captada en la cuenca. En cualquiera de los casos mencionados es necesario conocer el porcentaje de agua importada o el caudal de agua importada.

- i.** Si se conoce el caudal que entra a la PTAP, es posible calcular el caudal real que entra a la PTAP (Ecuación 31) y el caudal vertido por la PTAP (Ecuación 32). Si se conoce el porcentaje de agua importada se puede calcular el caudal importado (Ecuación 33), pero si lo que se conoce es el caudal importado se puede calcular el porcentaje de agua importada (Ecuación 34). También se puede calcular el caudal captado de la cuenca (Ecuación 35), las huellas hídricas azul y gris de la PTAP (Ecuaciones 6 y 7), y el agua transvasada (Ecuación 36).

$$Q_{E PTAP Real} = Q_{E PTAP} \times \frac{\text{horas de captación/día}}{24 \text{ horas/día}} \quad (31)$$

$$Q_{V PTAP} = Q_{E PTAP Real} - Q_{D PTAP} - Q_{Empacado} \quad (32)$$

$$Q_{IMP} = Q_{E PTAP Real} \times \%Q_{IMP} \quad (33)$$

$$\%Q_{IMP} = \frac{Q_{IMP}}{Q_{E PTAP}} \times 100\% \quad (34)$$

$$Q_{CAP CUE} = Q_{E PTAP Real} \times \frac{100\% - \%Q_{IMP}}{100\%} \quad (35)$$

$$\text{Agua Transvasada} = Q_{IMP} \quad (36)$$

- ii.** Si se conoce el caudal vertido por la PTAP, es posible calcular el caudal real que entra a la PTAP (Ecuación 37) y el caudal teórico que entra a la PTAP (Ecuación 38). Si se conoce el porcentaje de agua importada se puede calcular el caudal importado (Ecuación 33), pero si lo que se conoce es el caudal importado se puede calcular el porcentaje de agua importada (Ecuación 34). También se puede calcular el caudal captado de la cuenca (Ecuación 35), las huellas hídricas azul y gris de la PTAP (Ecuaciones 6 y 7), y el agua transvasada (Ecuación 36).

$$Q_{E PTAP Real} = Q_{V PTAP} + Q_{D PTAP} + Q_{Empacado} \quad (37)$$

$$Q_{E PTAP} = Q_{E PTAP Real} \times \frac{24 \text{ horas/día}}{\text{horas de captación/día}} \quad (38)$$

- iii.** Si se conoce el caudal captado, diferenciando entre caudal importado y caudal captado en la cuenca, y se conoce el valor del

caudal importado, se puede calcular el caudal que entra a la PTAP mediante la Ecuación 39 y el porcentaje de caudal importado (Ecuación 34). Si lo que se conoce es el porcentaje de agua importada, el caudal que entra a la PTAP se calcula mediante la Ecuación 40 y también se puede calcular el caudal importado (Ecuación 33). Luego se puede calcular el caudal real que entra a la PTAP (Ecuación 31), el caudal vertido por la PTAP (Ecuación 32) las huellas hídricas azul y gris de la PTAP (Ecuaciones 6 y 7), y el agua transvasada (Ecuación 36).

$$Q_{E\ PTAP} = Q_{IMP} + Q_{CAP\ CUE} \quad (39)$$

$$Q_{E\ PTAP} = \frac{Q_{CAP\ CUE}}{(100\% - \%Q_{IMP})} \times 100\% \quad (40)$$

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se realizó inicialmente por municipios para luego calcular la huella hídrica total en la cuenca del río Porce, entre los años 2005 y 2012.

En el análisis de la huella hídrica azul se consideró el agua transvasada pues la transferencia de agua entre cuencas tiende a disminuir la huella hídrica azul en la cuenca receptora al aumentar la disponibilidad del recurso en dicha cuenca.

Para el análisis de la huella hídrica gris se utilizaron diferentes valores de concentraciones máximas permitidas, basados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá Medellín, aportando así una visión global y una visión local de la huella hídrica gris.

No en todos los casos se obtuvieron datos para las concentraciones reales de los contaminantes analizados a la entrada de la PTAP o en los vertimientos, por lo que se tomaron valores de referencia de otros estudios (44). Estos valores se presentan en la Tabla 5.

El porcentaje de remoción de contaminantes en la PTAR tampoco se conoce en todos los casos, por lo tanto se fijó el valor de porcentaje de remoción típico de acuerdo con las unidades de tratamiento de la PTAR (45). Dichos porcentajes de remoción típicos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Concentraciones típicas de vertimientos y Concentraciones a la entrada de la PTAP

Contaminante	Concentración en el vertimiento (mg/l)	Concentración a la entrada de la PTAP (mg/l)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	220	2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	500	10
Sólidos Suspendedos Totales	220	7
Nitrógeno Total	40	0,01
Fósforo Total	8	0,001
Cloruros	50	0,161
Sulfatos	30	16,3

Fuente: Metcalf, Leonard y Eddy, Harrison P. *Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales*. Labor : Editorial S.A, 1977.

Tabla 6. Porcentajes de remoción típicos según las unidades de tratamiento de las PTAR

Unidades de Tratamiento	DBO₅	DQO	SST	P
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Despreciable
Sedimentación Primaria	30-40	30-40	50-65	10-20
Lodos activados (Convencional)	80-95	80-95	80-90	15-20
Filtros Percoladores	65-85	60-85	60-85	8-12

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS - 2000; Sección II, Título E: Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá : s.n., 2000.

3.1. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE AMALFI

El municipio de Amalfi está ubicado al nordeste del departamento de Antioquia, a 190 km de Medellín. Tiene una extensión de 1.213,04 km², una población total proyectada de 21.615 habitantes para 2012 (46), con 11.860 habitantes en la cabecera municipal y 9.746 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la empresa de servicios públicos Acueductos y Alcantarillados Sostenibles S.A. E.S.P (A.A.S S.A E.S.P).

El municipio capta agua del acuífero San Ignacio y de la subcuenca de la quebrada Guayabito (47). Ambas fuentes de captación se encuentran al interior de la cuenca del río Porce. No cuenta con planta de potabilización, sin embargo se realiza un proceso de desinfección con cloro previo a la distribución (48).

El municipio cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales para aproximadamente el 66% de las aguas que van al alcantarillado (24). La subcuenca de la quebrada Guayabito y la subcuenca de la quebrada Tequendama reciben los vertimientos de aguas residuales, y ambas se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 7 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 7. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Amalfi

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Calculado
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{IE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No cuenta con PTAP
$Q_{V\ PTAP}$	No cuenta con PTAP
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Calculado
$Q_{TRA\ PTAR}$	Caudales tratados en la PTAR de 2005 a 2008 reportados en el SUI
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos (ver Tabla 6)
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 13 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Amalfi.

Debido a que el municipio de Amalfi no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 8 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 13. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Amalfi

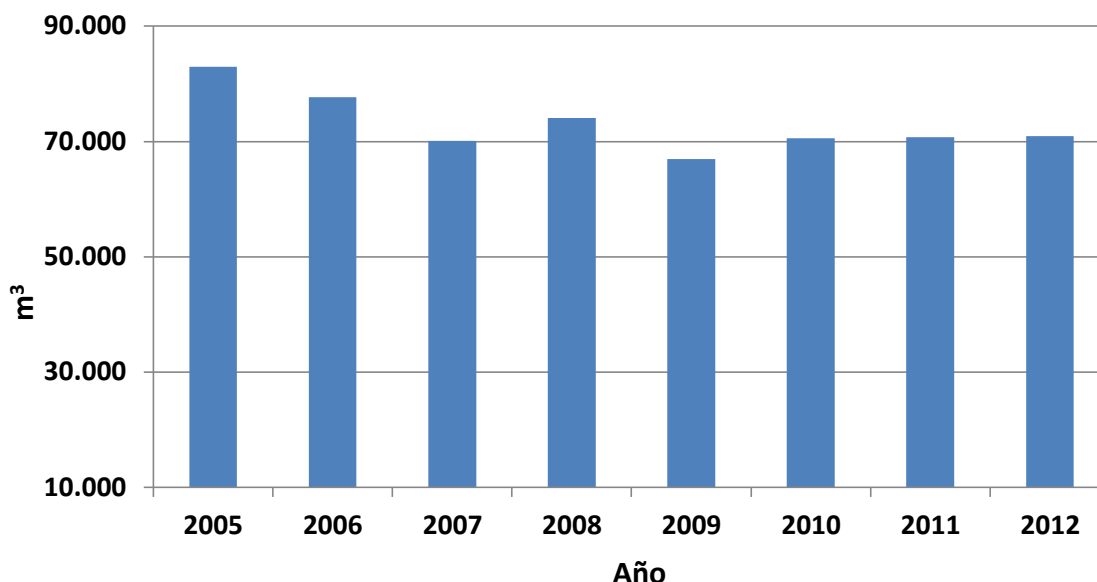


Tabla 8. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Amalfi en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	751.932
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	73.031
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	3,69
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	10,30
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	73.031
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	3,69

Fuente: Elaboración Propia

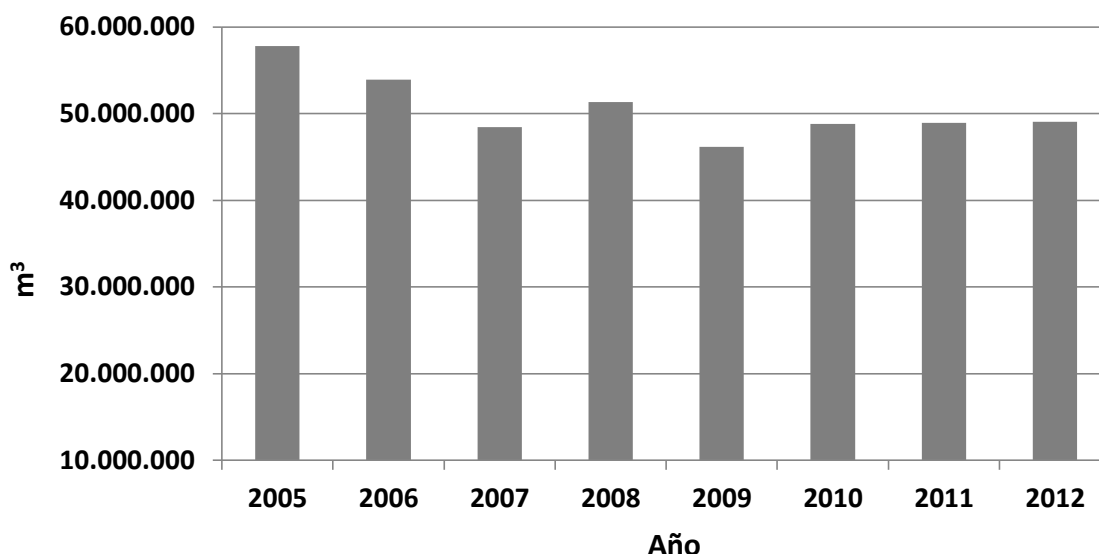
La huella hídrica azul en el municipio presenta algunas variaciones en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Amalfi se obtuvo en el año 2005, con una diferencia del 14% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2009, con una diferencia del 8% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal distribuido, que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 29%.

3.1.2. Huella Hídrica Gris

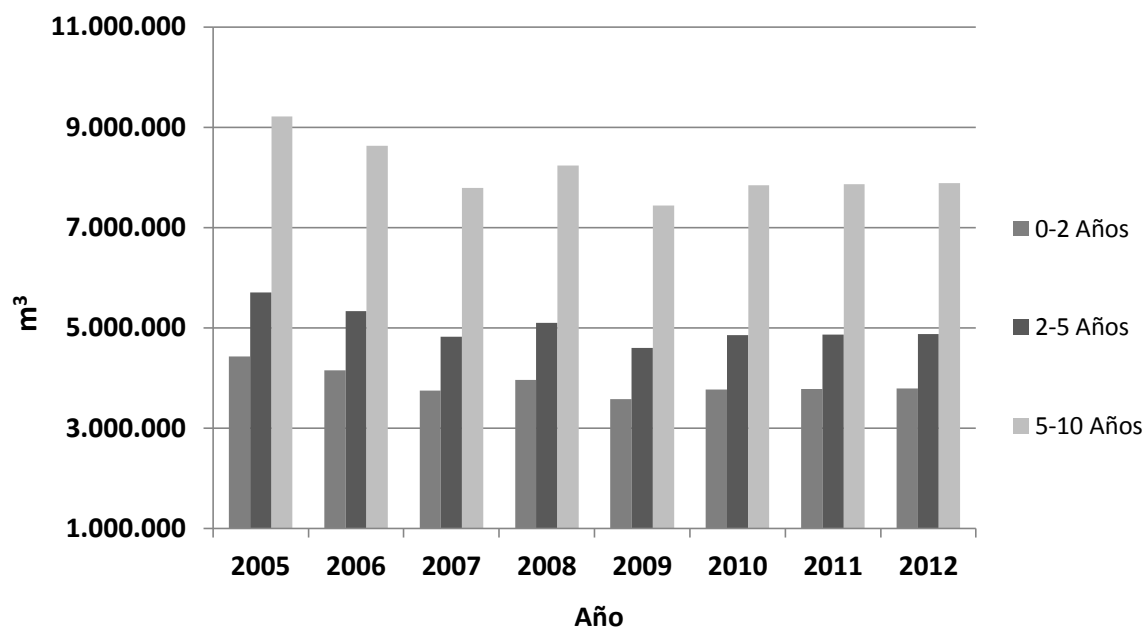
En la Figura 14 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 15 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 14. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Amalfi



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, se comporta de la misma manera que la huella hídrica azul. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2005, con una diferencia del 14% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2009, con una diferencia del 9% con respecto al promedio.

Figura 15. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Amalfi



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2005, con una diferencia del 14% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2009, con una diferencia del 8% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Como el municipio de Amalfi no cuenta con PTAP, los aportes a la huella hídrica gris se dan después de la etapa de distribución, por lo tanto al variar el caudal distribuido también cambia el caudal vertido en las acometidas ilegales, en la PTAR y el caudal que se vierte sin tratar.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los

periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Huella hídrica gris del municipio de Amalfi en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	50.563.364	2.552
Objetivos de Calidad 0-2 Años	3.900.767	197
Objetivos de Calidad 2-5 Años	5.017.399	253
Objetivos de Calidad 5-10 Años	8.114.558	410

Fuente: Elaboración Propia

3.2. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL ÁREA METROPOLITANA

El Área Metropolitana está compuesta por diez municipios del Valle de Aburrá en el departamento de Antioquia: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín y Sabaneta. Tiene una extensión de 1.155,58 km², una población total proyectada de 3.473.071 habitantes para 2012 (46), con 3.293.067 habitantes en la cabecera municipal y 180.004 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano y rural para los municipios del Área Metropolitana es administrado, mantenido y operado por Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (E.P.M E.S.P).

El Área Metropolitana cuenta con diez plantas de potabilización (49):

- **Barbosa:** Abastece al municipio de Barbosa y capta agua de las quebradas El Viento y La López.
- **Caldas:** Abastece al municipio de Caldas y capta agua de las quebradas La Valeria y la Redentora.
- **San Antonio de Prado:** Abastece al municipio de Medellín y capta agua de las quebradas La Manguala, Despensas, y Doña María.
- **Aguas Frías:** Abastece al municipio de Medellín y capta agua de la quebrada la Picacha.
- **La Cascada:** Abastece al municipio de Medellín y capta agua de la quebrada Santa Elena.

- San Cristóbal: Abastece al municipio de Medellín y capta agua de las quebradas La Iguaná, La Puerta, La Tenche.
- La Montaña: Abastece al municipio de Medellín y capta agua de la quebrada Chorrillos, en el embalse Piedras Blancas.
- Villa Hermosa: Abastece al municipio de Medellín y capta agua de las quebradas La Honda y Piedras Blancas, en el embalse Piedras Blancas.
- Manantiales: Abastece los municipios de Medellín, Girardota, Copacabana y Bello, y capta agua de los ríos Grande y Chico, y las quebradas Las Ánimas y Orobajo, en el embalse Riogrande II.
- La Ayurá: Abastece los municipios de Medellín, Itagüí, Envigado, La Estrella y Sabaneta, y capta agua de los ríos Buey, Piedras y Pantanillo, y de las quebradas Las Palmas, Potreros, La Miel y Espíritu Santo, en el embalse La Fe.

Todas las fuentes de abastecimiento de agua para el Área Metropolitana se encuentran al interior de la cuenca del río Porce, excepto el Embalse La Fe. Toda el agua captada desde dicho embalse corresponde a agua importada (Agua Transvasada).

En algunas plantas de potabilización se empaca agua, equivalente al 0,2% del agua que se capta en toda el Área Metropolitana (50).

Cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando) para aproximadamente el 28% de las aguas residuales generadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, las cuales corresponden a los municipios del sur: Itagüí, Envigado, Sabaneta y La Estrella (51). El río Aburrá – Medellín es el principal receptor de los vertimientos, y se encuentra al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 10 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para el Área Metropolitana.

Tabla 10. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el Área Metropolitana

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudales captados de 2005 a 2008 reportados en el SUI
Q_{IMP}	Caudales captados en embalse La Fe de 2005 a 2008 reportados en el SUI
$C_{IE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	Calculado
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2009 a 2011 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Calculado
$Q_{TRA\ PTAR}$	Caudales tratados en la PTAR de 2005 a 2011 reportados en el SUI
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos (ver Tabla 6)
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 16 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el Área Metropolitana.

Debido a que en Área Metropolitana se importa agua de otra cuenca, la huella hídrica azul corresponde a la diferencia entre la huella hídrica azul positiva y el Agua transvasada. En la Tabla 11 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 16. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el Área Metropolitana

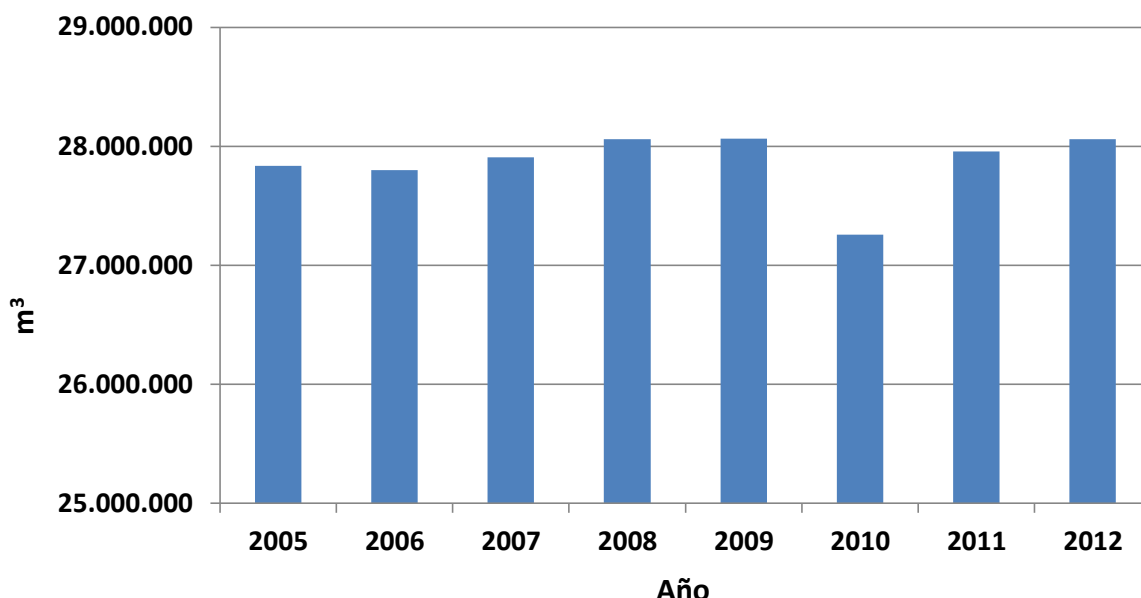


Tabla 11. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el Área Metropolitana en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	163.873.260
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	53,01
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	151.810.362
HH Azul Positiva (m ³ /año)	27.868.755
HH Azul Positiva (m ³ /habitante)	9,02
HH Azul Positiva (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	5,45
HH Azul Total (m ³ /año)	-136.004.504
HH Azul Total (m ³ /habitante)	-44,00

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el Área Metropolitana presenta leves variaciones en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el Área Metropolitana se obtuvo en el año 2009, con una diferencia del 1% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2010, con una diferencia del 2% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal distribuido, que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. En el año 2010 el caudal captado de la cuenca permaneció igual que en el año 2009, y los

consumos facturados en estos años también son similares, sin embargo se registró una disminución en el caudal distribuido en el año 2010, disminuyendo así el consumo de agua y por consiguiente la huella hídrica azul en dicho año.

Se encontró que en el Área Metropolitana el 52% del agua captada se importa desde el embalse La Fe. La huella hídrica azul total es negativa debido a que la cantidad de agua importada es mayor a la cantidad de agua captada en el interior de la cuenca, por lo que se puede compensar la huella hídrica azul de los usuarios que han consumido el agua de la cuenca.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 41%.

Se analizó el efecto de la huella hídrica azul propia de la PTAR en el cálculo de la huella hídrica azul positiva.

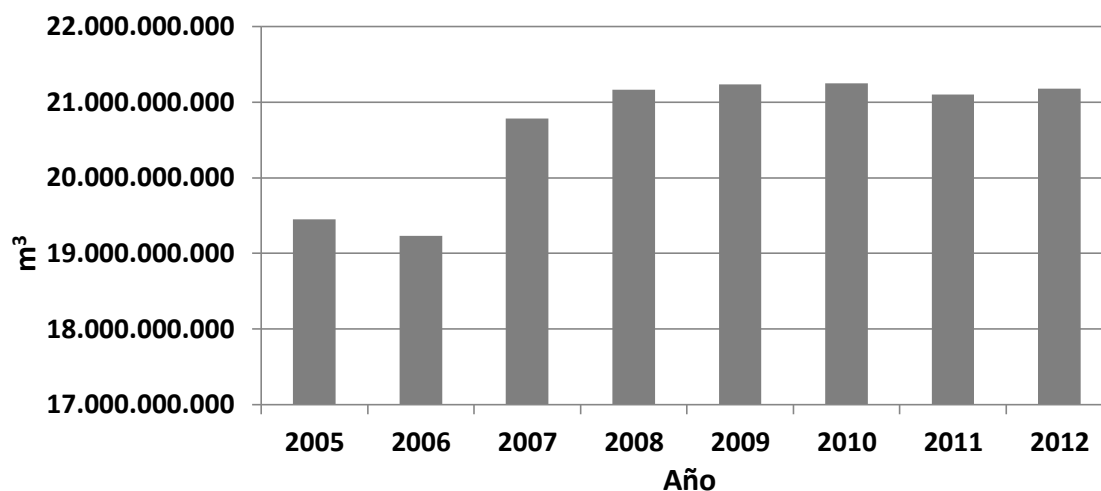
En los lodos que resultan del proceso de tratamiento de aguas residuales sale agua, que posteriormente se evapora; por lo tanto existe una huella hídrica azul en la PTAR. En la planta de tratamiento de aguas residuales de San Fernando se generan aproximadamente 27.787 toneladas húmedas de lodos al año, con una humedad del 68% aproximadamente (51). Con lo anterior se determina que la cantidad de agua que sale en los lodos es 18.895 m³/año.

Teniendo en cuenta la huella hídrica azul positiva del Área Metropolitana en un año típico (27.868.755 m³/año) y la huella hídrica azul que representa el agua contenida en los lodos (18.895 m³/año), la diferencia en la huella hídrica azul positiva del Área Metropolitana al considerar la huella hídrica azul de la PTAR es del 0,068%, por lo cual no se considerará relevante para el análisis y se asumirá que toda el agua que entra a la PTAR se tratará y será vertida posteriormente.

3.2.2. Huella Hídrica Gris

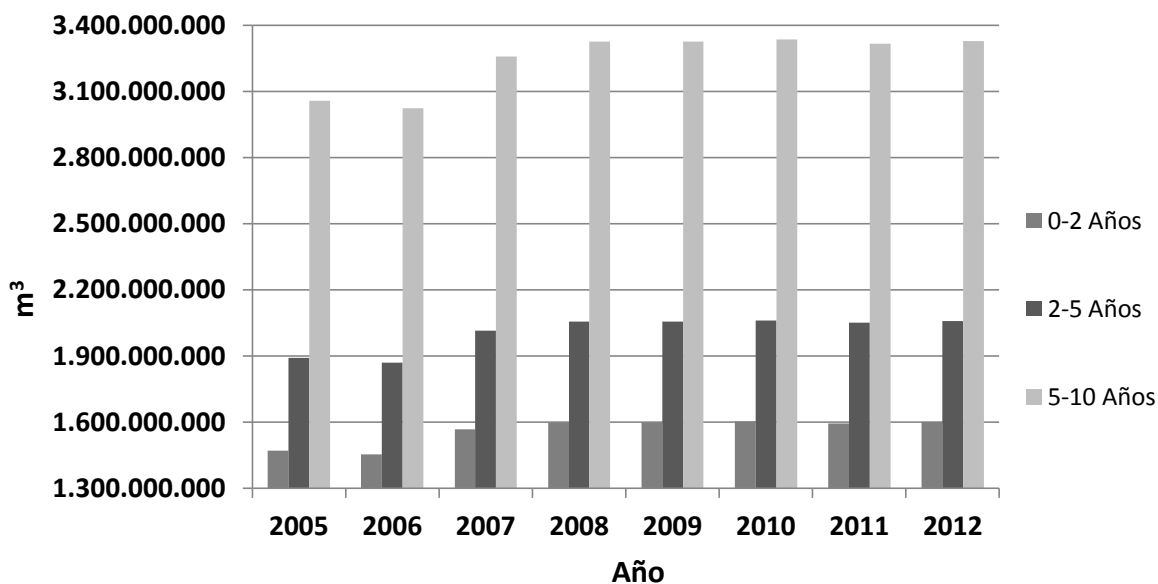
En la Figura 17 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 18 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 17. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el Área Metropolitana



La huella hídrica gris total del Área Metropolitana, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta leves variaciones desde el año 2007 hasta el 2012, sin embargo se registran variaciones significativas en los años 2005 y 2006. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2010, con una diferencia del 3% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2006, con una diferencia del 7% con respecto al promedio.

Figura 18. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el Área Metropolitana



La huella hídrica gris total del Área Metropolitana, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2010, con una diferencia del 3% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2009, con una diferencia del 7% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Los valores menores de huella hídrica gris en los años 2005 y 2006 se deben a que en estos años el caudal captado fue menor que en los años siguientes, por lo que el caudal vertido por las PTAP es menor, y en consecuencia también es menor la huella hídrica gris.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Huella hídrica gris del Área Metropolitana en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	20.675.522.703	6.688
Objetivos de Calidad 0-2 Años	1.560.963.003	505
Objetivos de Calidad 2-5 Años	2.007.803.558	650
Objetivos de Calidad 5-10 Años	3.247.188.470	1.050

Fuente: Elaboración Propia

3.3. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE BELMIRA

El municipio de Belmira está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 297,88 km², una población total proyectada de 6.392 habitantes para 2012 (46), con 1.769 habitantes en la cabecera municipal y 4.624 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es operado por la empresa municipal Empresas Públicas de Belmira E.S.P.

El municipio cuenta con dos plantas de potabilización: Planta Mogotes, que capta agua de la quebrada Mogotes, y Planta Montañita, que capta agua de la quebrada La Montañita (52). Ambas fuentes de captación se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

El municipio no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales. Todas las aguas residuales domesticas se vierten directamente sin tratamiento previo sobre el río Chico y las quebradas La Aldaña, Tacamocho y Los Chorros (27) (37), que se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 13 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 13. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Belmira

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudales captados reportados en Informe Visita Empresas Publicas de Belmira E.S.P (52)
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{iE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Calculado
$\%P$	Porcentaje de Pérdidas reportado en PMAA del municipio
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$\%R_i$	No cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	No cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 19 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Belmira.

Debido a que el municipio de Belmira no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 14 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 19. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Belmira

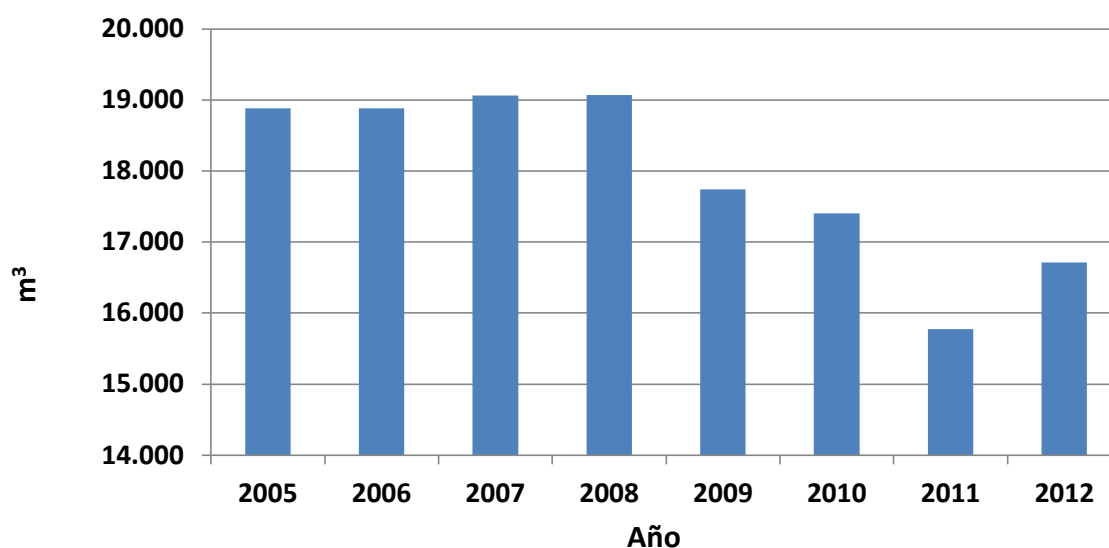


Tabla 14. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Belmira en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	346.896
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	17.941
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	3,10
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	19,34
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	17.941
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	3,10

Fuente: Elaboración Propia

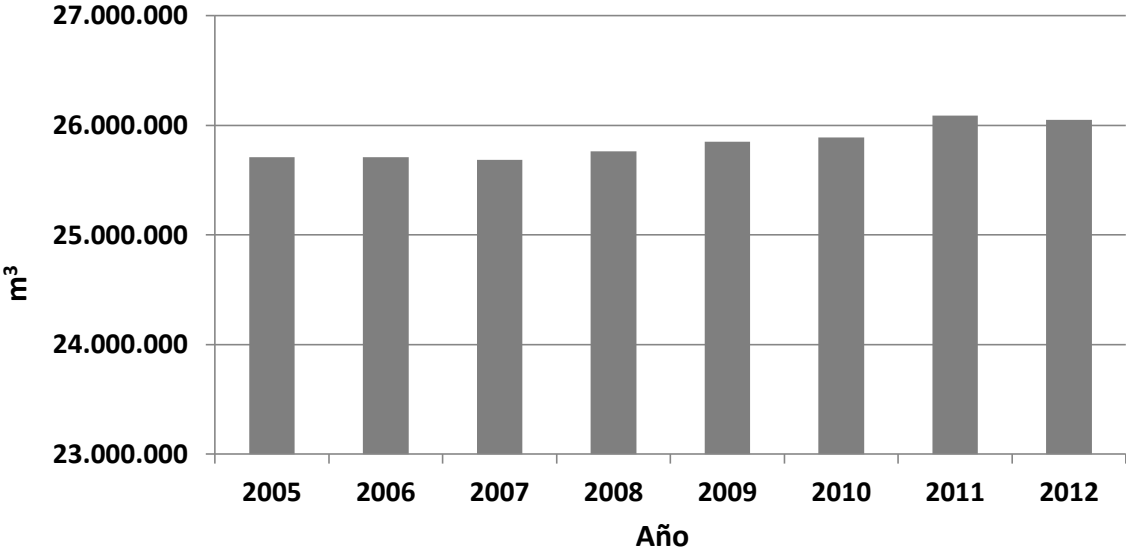
La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones principalmente en los últimos cuatro años del periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Belmira se obtuvo en el año 2008, con una diferencia del 6% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2011, con una diferencia del 12% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal consumido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. A partir del año 2009 comienza a disminuir el caudal consumido, alcanzando su mínimo valor en el año 2011, mientras el caudal captado permanece constante durante todo el periodo evaluado, y el caudal distribuido no tiene variaciones significativas.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 50%.

3.3.2. Huella Hídrica Gris

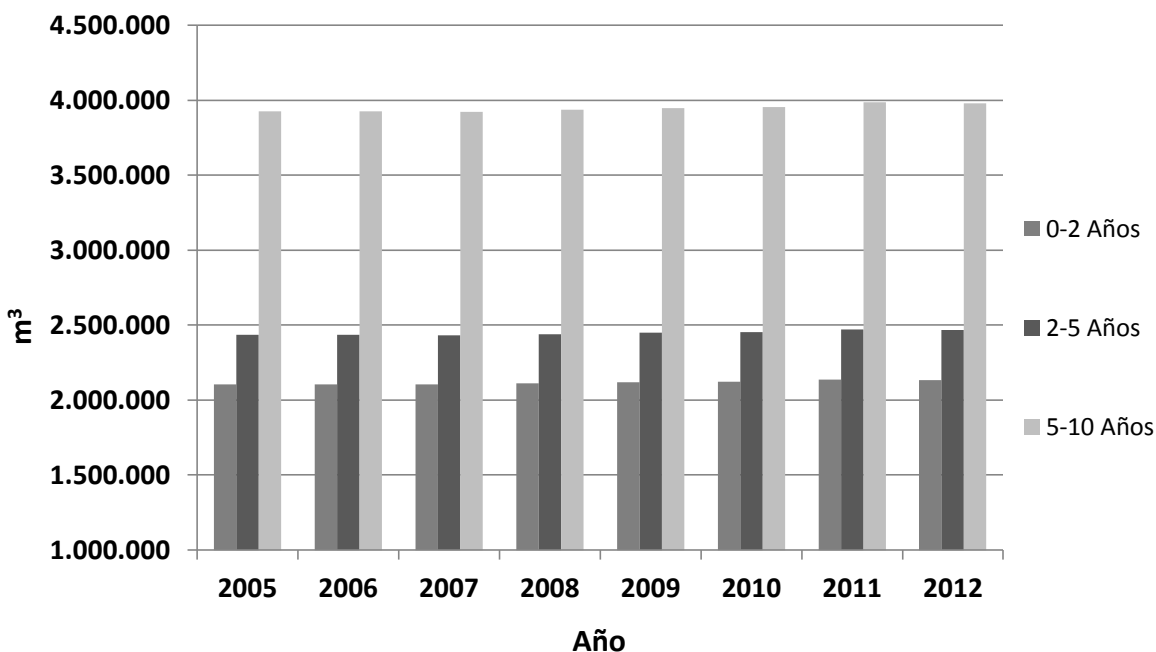
En la Figura 20 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 21 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 20. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Belmira



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales presenta leves variaciones. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2011, con una diferencia del 1% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2007, con una diferencia del 1% con respecto al promedio.

Figura 21. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Belmira



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2011, con una diferencia del 1% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2007, con una diferencia del 1% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal consumido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido, y a su vez el caudal distribuido es calculado a partir del porcentaje de pérdidas y el caudal

consumido. Tanto el caudal captado como el porcentaje de pérdidas permanecen constantes durante todo el periodo evaluado, y las disminuciones en el caudal consumido resultan en un aumento en el caudal vertido por la PTAP. Debido a lo anterior la huella hídrica gris no disminuye en los últimos cuatro años del periodo evaluado, sino que sigue la misma tendencia de los años anteriores.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Huella hídrica gris del municipio de Belmira en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	25.842.863	6.688
Objetivos de Calidad 0-2 Años	2.117.092	505
Objetivos de Calidad 2-5 Años	2.448.405	650
Objetivos de Calidad 5-10 Años	3.947.679	1.050

Fuente: Elaboración Propia

3.4. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE CAROLINA DEL PRÍNCIPE

El municipio de Carolina del Príncipe está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 163,58 km², una población total proyectada de 3.854 habitantes para 2012 (46), con 2.995 habitantes en la cabecera municipal y 859 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Domiciliarios de Carolina del Príncipe.

El municipio capta agua de la quebrada La Paz, que se encuentra al interior de la cuenca del río Porce, y cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable compuesto por un sistema de Filtración en múltiples etapas (35).

El municipio no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales. Los vertimientos se realizan sobre las quebradas La Paz, El Carmelo y Santa Bárbara (35), las cuales se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 16 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 16. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Carolina del Príncipe

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudales captados de 2006 a 2008 reportados en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{iE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos en 2006 y 2008 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$\%R_i$	No cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	No cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 22 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Carolina del Príncipe.

Debido a que el municipio de Carolina del Príncipe no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 17 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 22. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Carolina del Príncipe

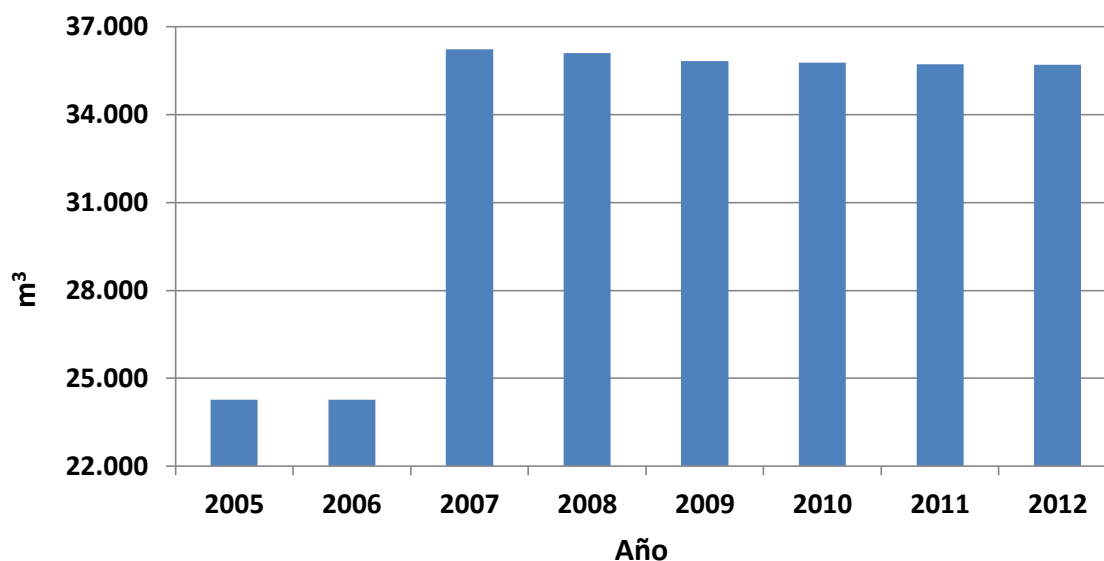


Tabla 17. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Carolina del Príncipe en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	680.783
HH Azul Positiva (m ³ /año)	32.988
HH Azul Positiva (m ³ /habitante)	16,41
HH Azul Positiva (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	20,64
HH Azul Total (m ³ /año)	32.988
HH Azul Total (m ³ /habitante)	16,41

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones significativas en los dos primeros años del periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Carolina del Príncipe se obtuvo en el año 2007, con una diferencia del 10% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en los años 2005 y 2006, con una diferencia del 26% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal distribuido, que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. En el 2007 se registra un aumento en el caudal distribuido, que se mantiene constante a partir

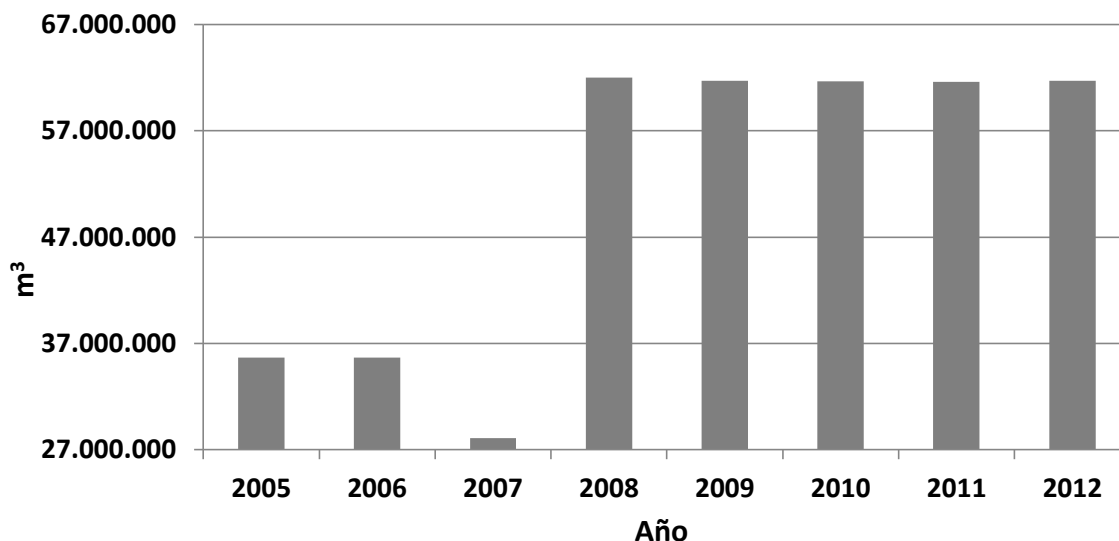
de dicho año. Por lo anterior la huella hídrica azul de los dos primeros años es menor, luego aumenta en el 2007 y no presenta variaciones significativas entre ese año y el 2012.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 47%.

3.4.2. Huella Hídrica Gris

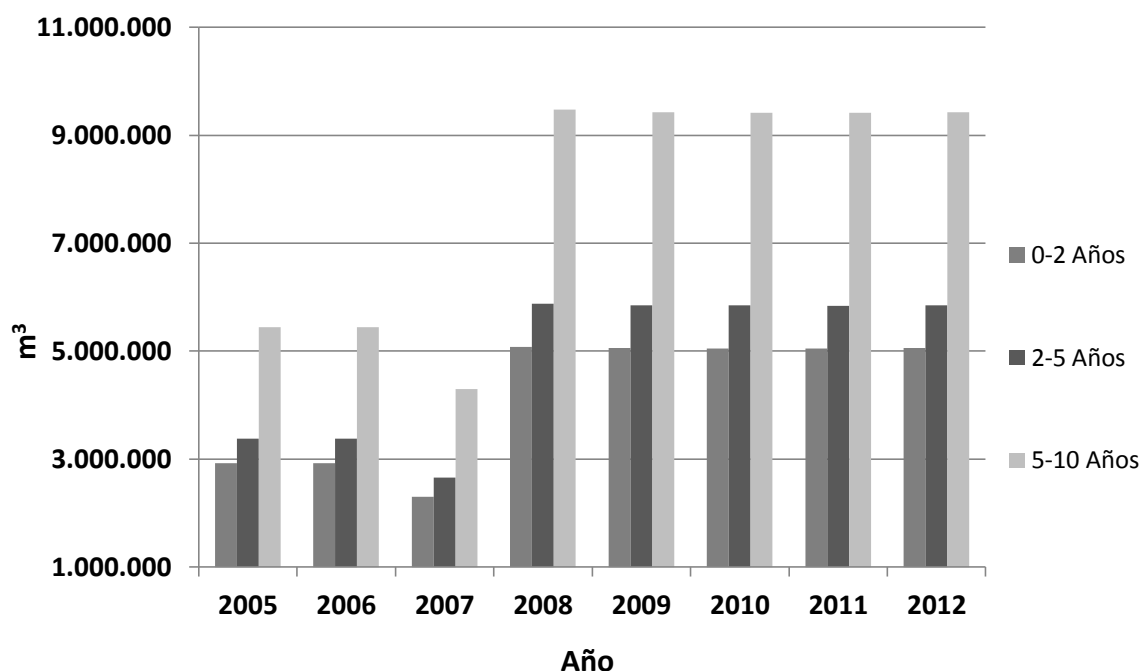
En la Figura 23 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 24 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 23. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Carolina del Príncipe



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta leves variaciones desde el año 2008 hasta el 2012, sin embargo se registran variaciones significativas en los años 2005, 2006 y 2007. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2008, con una diferencia del 22% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2007, con una diferencia del 45% con respecto al promedio.

Figura 24. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Carolina del Príncipe



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2008, con una diferencia del 22% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2007, con una diferencia del 45% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. En los años 2005 y 2006 el caudal distribuido es menor que en los demás años, por lo tanto los caudales vertidos en las acometidas ilegales, en la PTAR y los caudales vertidos sin tratar disminuyen, y por consiguiente disminuye la huella hídrica gris. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al aumentar el caudal distribuido en el 2007 y disminuir ligeramente el caudal captado en este mismo año, el caudal vertido por la PTAP disminuye significativamente, y como consecuencia disminuye también la huella hídrica gris en este año.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Huella hídrica gris del municipio de Carolina del Príncipe en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	51.019.637	25.379
Objetivos de Calidad 0-2 Años	4.180.151	2.079
Objetivos de Calidad 2-5 Años	4.834.321	2.405
Objetivos de Calidad 5-10 Años	7.793.615	3.877

Fuente: Elaboración Propia

3.5. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DON MATÍAS

El municipio de Don Matías está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 197,96 km², una población total proyectada de 19.250 habitantes para 2012 (46), con 12.511 habitantes en la cabecera municipal y 6.739 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la Secretaría de Servicios Públicos del Municipio de Don Matías.

El municipio cuenta con planta de potabilización. La fuente de abastecimiento es la quebrada la Piedrahita (28), la cual se encuentra al interior de la cuenca del río Porce.

Cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales a partir del año 2011 (53). Los vertimientos se realizan al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 19 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 19. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Don Matías

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudal captado en 2006 reportado en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{IE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos del 2006 al 2011 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Asumido según algoritmo desde 2011. Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	Se calcula a partir de 2011. Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos a partir de 2011 (ver Tabla 6). Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos a partir de 2011 (ver Tabla 5). Antes de 2011 no cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 25 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Don Matías.

Debido a que el municipio de Don Matías no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 20 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 25. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Don Matías

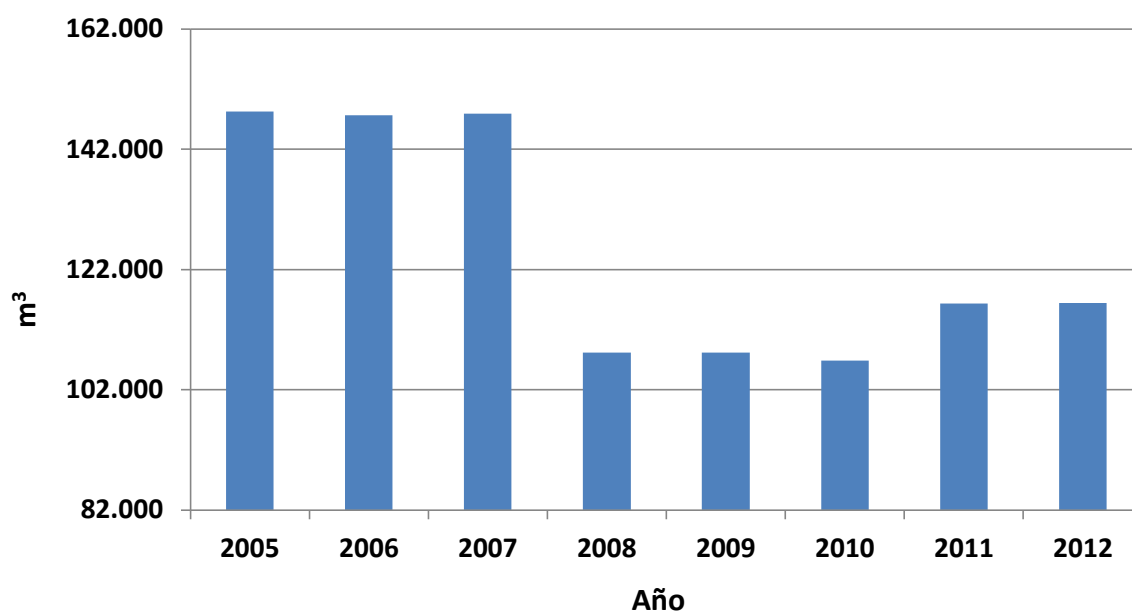


Tabla 20. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Don Matías en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	1.734.480
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	125.021
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	6,49
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	13,87
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	125.021
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	6,49

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones significativas en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Don Matías se obtuvo en el año 2005, con una diferencia del 19% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2010, con una diferencia del 15% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal distribuido, que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. En el año

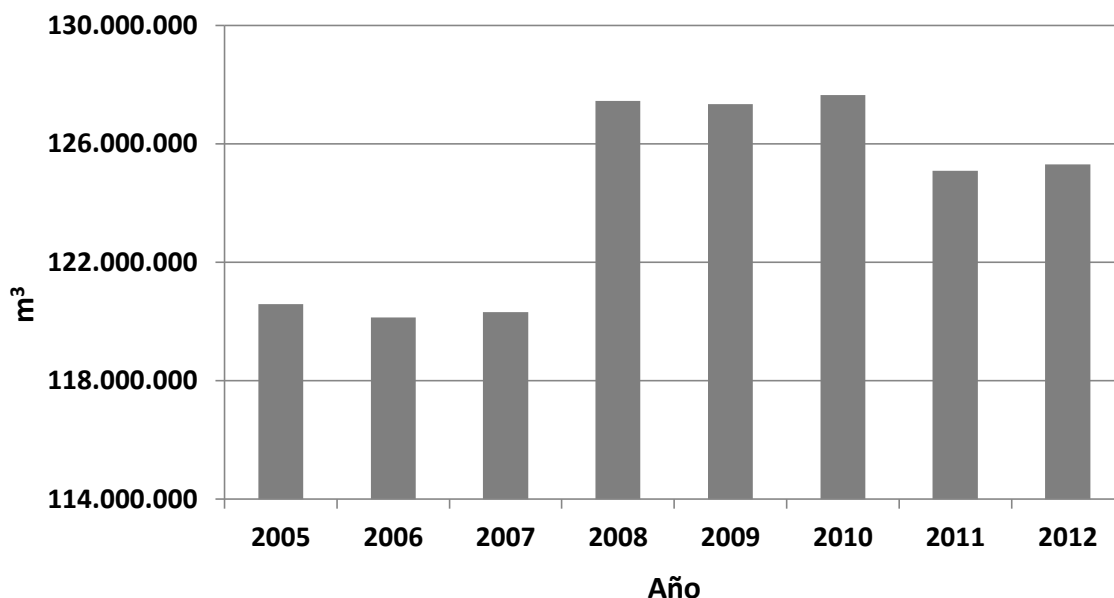
2008 se registra una disminución en el caudal distribuido que varía levemente a partir de dicho año, por consiguiente la huella hídrica azul disminuye a partir del 2008.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 51%.

3.5.2. Huella Hídrica Gris

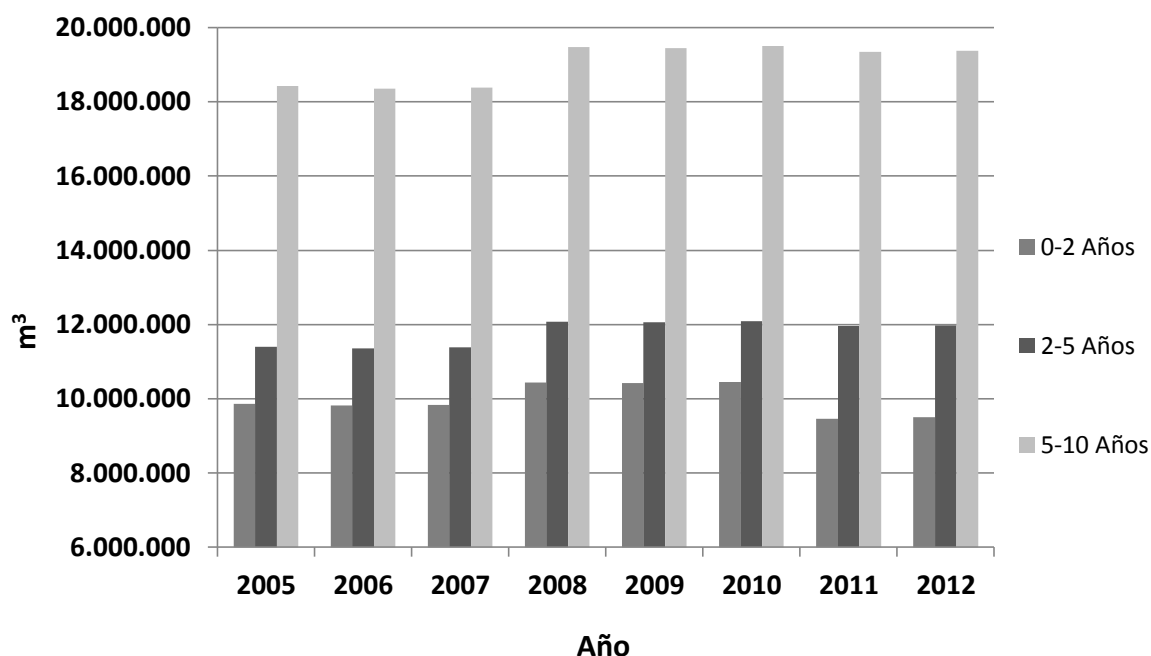
En la Figura 26 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 27 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 26. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Don Matías



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta variaciones significativas. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2010, con una diferencia del 3% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2006, con una diferencia del 3% con respecto al promedio.

Figura 27. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Don Matías



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2010, con una diferencia entre el 5% y el 2% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2006, con una diferencia entre el 5% y el 4% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas, y por la presencia de PTAR a partir del 2011. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al disminuir el caudal distribuido en el 2008 el caudal vertido por la PTAP aumenta, y como consecuencia aumenta también la huella hídrica gris en este año. En el 2011 ocurre una ligera disminución en la huella hídrica gris debido a un ligero aumento del caudal distribuido en este año y por consiguiente una disminución en el caudal vertido por la PTAP, además a partir del año 2011 el municipio cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales, lo que disminuye la carga contaminante en el vertimiento de la PTAR contribuyendo así a la disminución de la huella hídrica gris.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Huella hídrica gris del municipio de Don Matías en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	124.236.493	6.454
Objetivos de Calidad 0-2 Años	9.978.216	518
Objetivos de Calidad 2-5 Años	11.770.239	611
Objetivos de Calidad 5-10 Años	19.035.818	989

Fuente: Elaboración Propia

3.6. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ENTRERRÍOS

El municipio de Entrerríos está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 215,54 km², una población total proyectada de 8.985 habitantes para 2012 (46), con 4.405 habitantes en la cabecera municipal y 4.579 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es operado por la Unidad de Servicios Públicos del Municipio de Entrerríos.

El municipio capta agua de la microcuenca Tesorero (29), que se encuentra al interior de la cuenca del río Porce, y cuenta con una planta de potabilización, compuesta por dos filtros lentos en arena y un proceso de desinfección con cloro líquido (38).

Cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales a partir del año 2008 (38), donde se trata aproximadamente el 95% del total de las aguas del alcantarillado. Los vertimientos se realizan sobre la quebrada La Torura (38), la cual se encuentra al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 22 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 22. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Entreríos

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudal captado en 2006 reportado en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{iE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos del 2007 al 2011 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Porcentaje de agua tratada en PTAR reportado en el PSMV a partir de 2008. Antes de 2008 no cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	Calculado a partir de 2008. Antes de 2008 no cuenta con PTAR
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos a partir de 2008 (ver Tabla 6). Antes de 2008 no cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos a partir de 2008 (ver Tabla 5). Antes de 2008 no cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 28 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Entreríos.

Debido a que el municipio de Entreríos no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 23 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 28. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Entrerriós

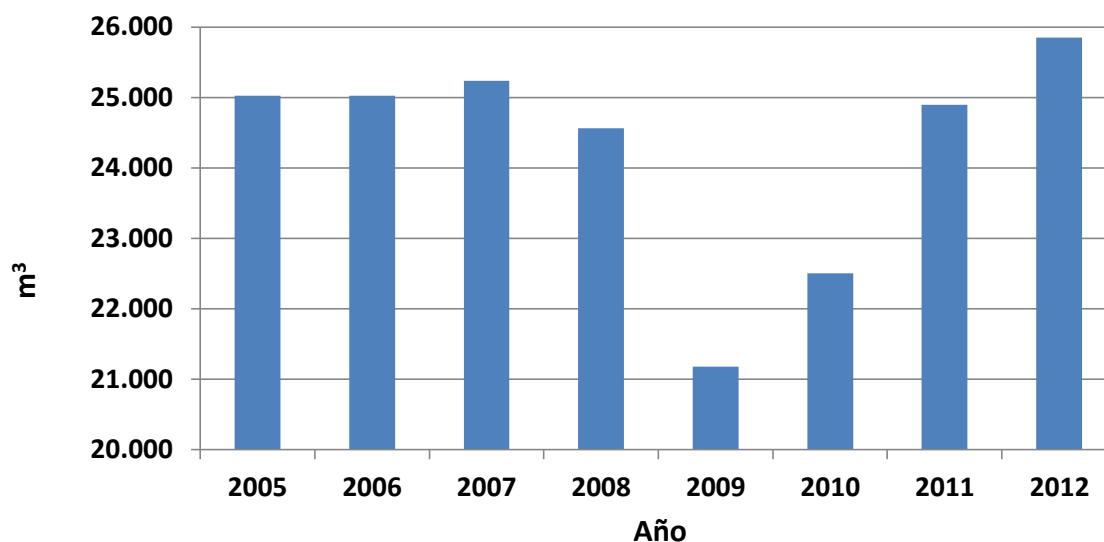


Tabla 23. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Entrerriós en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	441.504
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	24.287
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	2,70
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	18,18
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	24.287
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	2,70

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones significativas en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Entrerriós se obtuvo en el año 2012, con una diferencia del 6% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2009, con una diferencia del 13% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el porcentaje de pérdidas, que se calcula a partir del caudal consumido y el caudal distribuido. En el año 2009 se registra una disminución significativa en el porcentaje de pérdidas, afectando así la huella hídrica azul correspondiente a las acometidas ilegales. Esta variación no resulta significativa en la huella hídrica azul de los usuarios pues lo que no se consumió

en las acometidas ilegales sale en su mayoría como vertimiento de los usuarios. Por lo anterior la huella hídrica total se ve reducida en el 2009 al disminuir el consumo de agua en las acometidas ilegales, sin aumentar significativamente el consumo de agua de los usuarios.

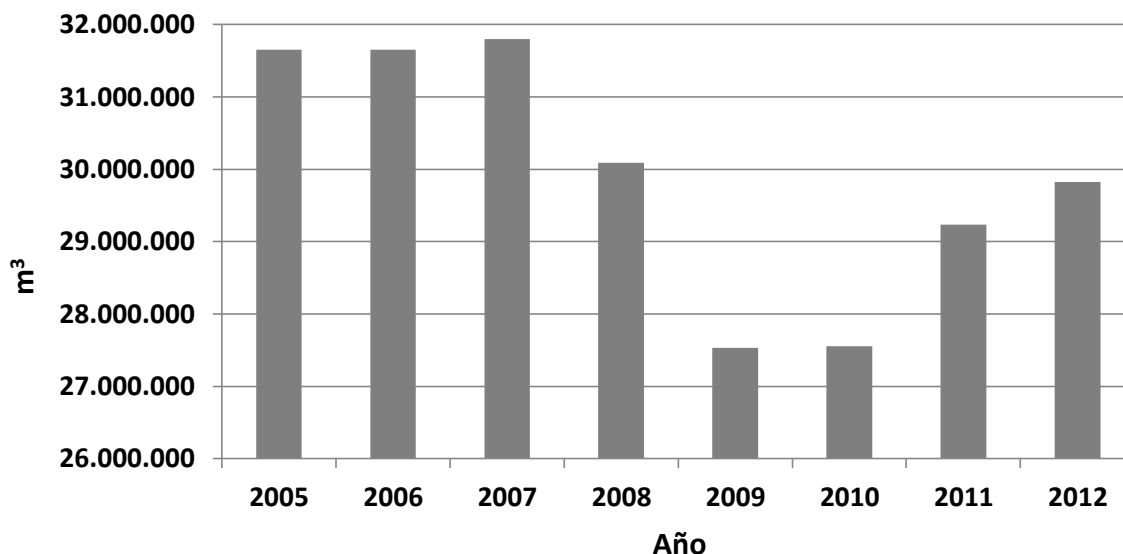
Del año 2010 en adelante aumenta nuevamente el porcentaje de pérdidas y los consumos facturados también aumentan cada año, dando lugar a un aumento de la huella hídrica azul a partir de dicho año.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 18%.

3.6.2. Huella Hídrica Gris

En la Figura 29 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 30 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

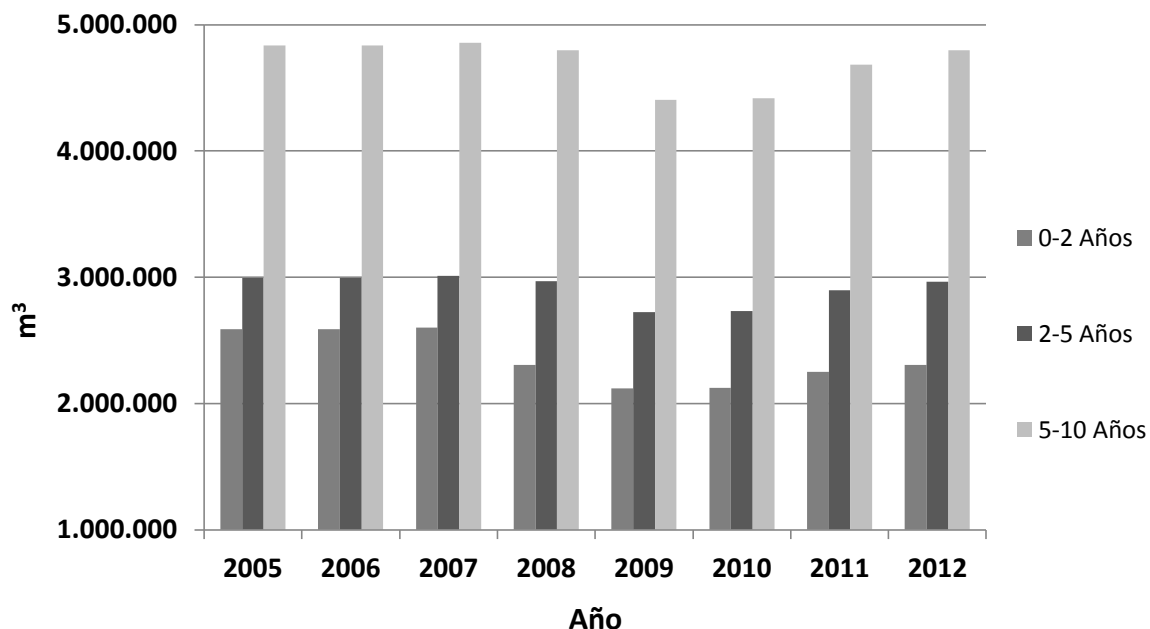
Figura 29. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Entreríos



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta variaciones significativas. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2007,

con una diferencia del 6% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2009, con una diferencia del 8% con respecto al promedio.

Figura 30. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Entreríos



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2007, con una diferencia entre el 6% y el 3% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2009, con una diferencia entre el 8% y el 6% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por las variaciones en el porcentaje de pérdidas, que se calcula a partir del caudal consumido y el caudal distribuido, y también se dan por la presencia de la PTAR a partir del 2008. En el año 2009 se registra una disminución significativa en el porcentaje de pérdidas, lo cual disminuye significativamente el caudal vertido en las acometidas ilegales. Esta variación también cambia el caudal vertido por los usuarios pero no de manera significativa. Además a partir del 2008 el municipio cuenta con PTAR, lo que disminuye el caudal vertido sin tratar y disminuye la carga contaminante en el vertimiento de la planta, y por consiguiente la huella hídrica gris.

Del año 2010 en adelante aumenta nuevamente el porcentaje de pérdidas y los consumos facturados también aumentan cada año, dando lugar a un aumento los caudales vertidos y por ende a la huella hídrica gris.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Huella hídrica gris del municipio de Entrerríos en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	29.917.438	3.330
Objetivos de Calidad 0-2 Años	2.261.352	252
Objetivos de Calidad 2-5 Años	2.908.686	324
Objetivos de Calidad 5-10 Años	4.704.171	524

Fuente: Elaboración Propia

3.7. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE GÓMEZ PLATA

El municipio de Gómez Plata está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 326,02 km², una población total proyectada de 11.820 habitantes para 2012 (46), con 5.388 habitantes en la cabecera municipal y 6.432 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es operado por la Unidad de Servicios Públicos Domiciliarios del Municipio de Gómez Plata.

El sistema de acueducto municipal tiene como fuente de abastecimiento la quebrada San Rafael, que se encuentra al interior de la cuenca del río Porce. Desde allí el agua es conducida hacia el desarenador y posteriormente hacia la planta de tratamiento de agua de consumo en donde es tratada por medio de filtros lentos y clorada (30).

El municipio no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales (39). Los vertimientos se realizan a las quebradas El Cañero, Malabrigo, El zancudo y Hojas Anchas (30), las cuales se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 25 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 25. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Gómez Plata

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudales captados de 2006 a 2007 reportados en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{iE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2006 a 2012 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$\%R_i$	No cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	No cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.7.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 31 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Gómez Plata.

Debido a que el municipio de Gómez Plata no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 26 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 31. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Gómez Plata

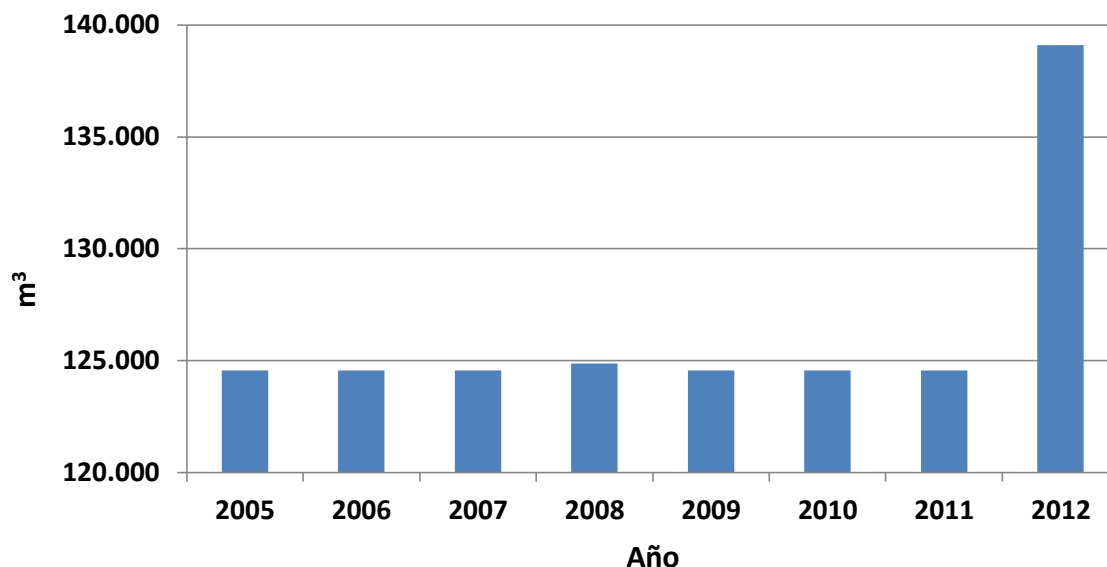


Tabla 26. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Gómez Plata en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	2.904.465
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	126.415
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	10,69
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	22,98
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	126.415
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	10,69

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta leves variaciones entre el 2005 y el 2011, sin embargo en el 2012 se presenta una variación significativa. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Gómez Plata se obtuvo en el año 2012, con una diferencia del 10% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo desde el 2005 hasta el 2011, exceptuando el 2008, con una diferencia del 1% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan por las variaciones en el caudal distribuido, que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. En el año 2012 se registra un aumento en el

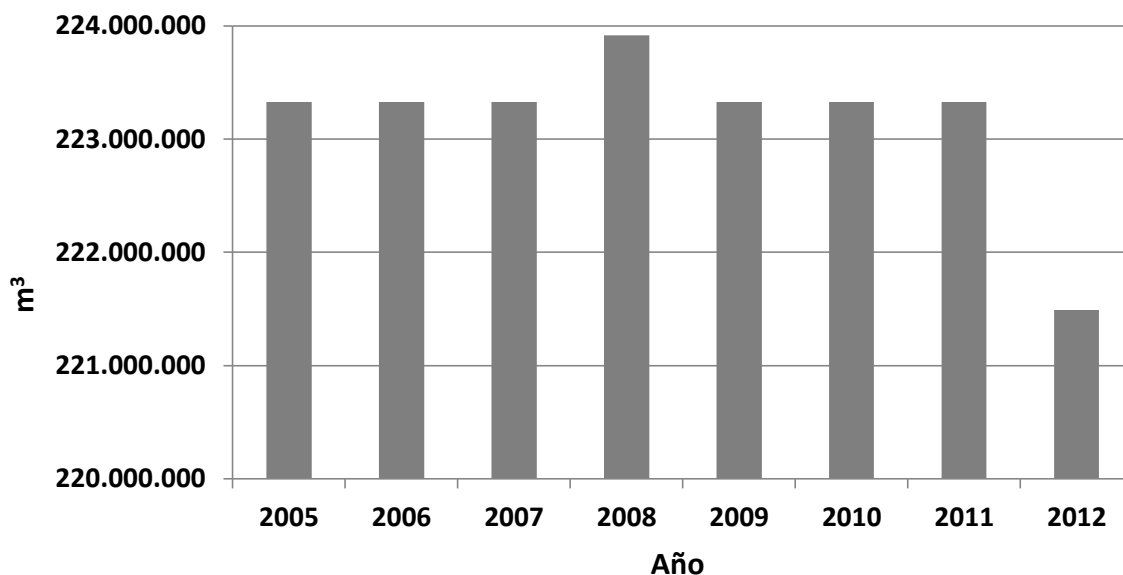
caudal distribuido que había permanecido constante entre el 2005 y el 2011, por consiguiente la huella hídrica azul aumenta en dicho año.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 13%.

3.7.2. Huella Hídrica Gris

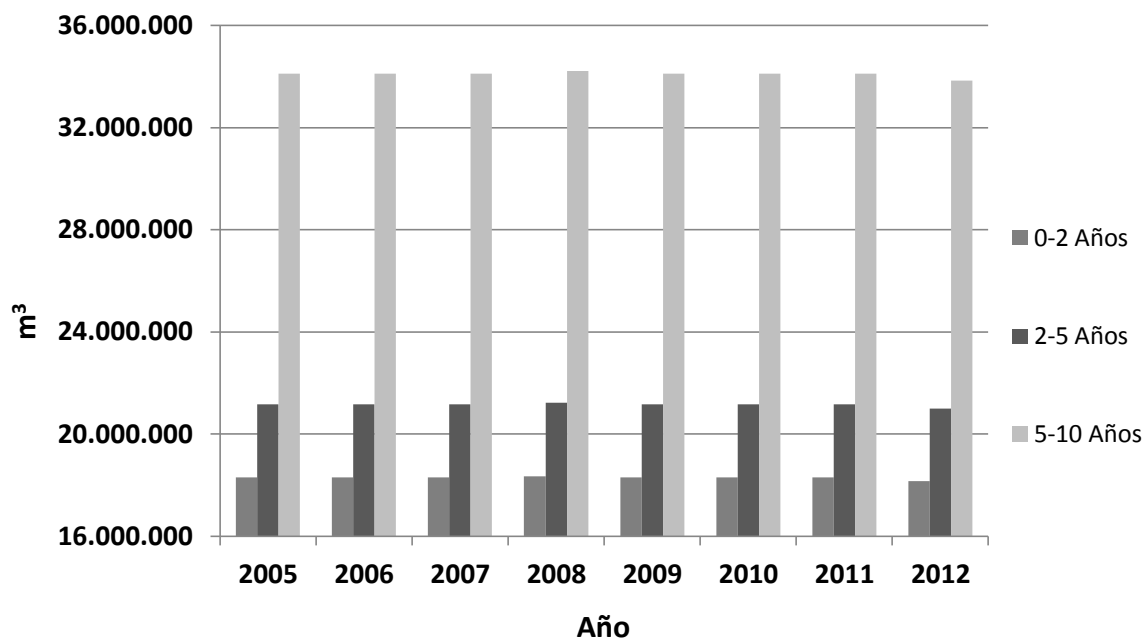
En la Figura 32 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 33 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 32. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Gómez Plata



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta leves variaciones entre el año 2005 y el 2011. En el año 2012 se presenta una variación significativa. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2008, con una diferencia del 0,3% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2012, con una diferencia del 1% con respecto al promedio.

Figura 33. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Gómez Plata



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2008, con una diferencia del 0,3% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2012, con una diferencia del 1% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al aumentar el caudal distribuido en el 2012 el caudal vertido por la PTAP disminuye, y como consecuencia disminuye también la huella hídrica gris en este año. En el 2008 las principales variaciones se dan en el caudal consumido, que aumenta ligeramente, causando un incremento en los caudales vertidos, y por lo tanto se incrementa también la huella hídrica gris.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como

concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Huella hídrica gris del municipio de Gómez Plata en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	223.172.204	18.881
Objetivos de Calidad 0-2 Años	18.294.927	1.548
Objetivos de Calidad 2-5 Años	21.157.983	1.790
Objetivos de Calidad 5-10 Años	34.091.268	2.884

Fuente: Elaboración Propia

3.8. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE GUADALUPE

El municipio de Guadalupe está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 115,12 km², una población total proyectada de 6.256 habitantes para 2012 (46), con 1.975 habitantes en la cabecera municipal y 4.281 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la Oficina de Servicios Públicos Domiciliarios de Guadalupe – Antioquia.

El municipio cuenta con planta de potabilización. El agua es captada de la quebrada Santa Gertrudis (31), que se encuentra al interior de la cuenca del río Porce.

No cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales. El municipio de Guadalupe posee dos fuentes que atraviesan la cabecera, a las cuales se vierten directamente las aguas residuales de las viviendas que están ubicadas a lado y lado de los cauces, y los demás vertimientos se realizan sobre las quebradas Gallinas, y El Salto de los Chorros (40). Todas las fuentes receptoras se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 28 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 28. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Guadalupe

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudales captados de 2006 a 2007 reportados en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PMAA)
$C_{IE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2006 a 2008 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	No cuenta con PTAR
$\%R_i$	No cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	No cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.8.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 34 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Guadalupe.

Debido a que el municipio de Guadalupe no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 29 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 34. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Guadalupe

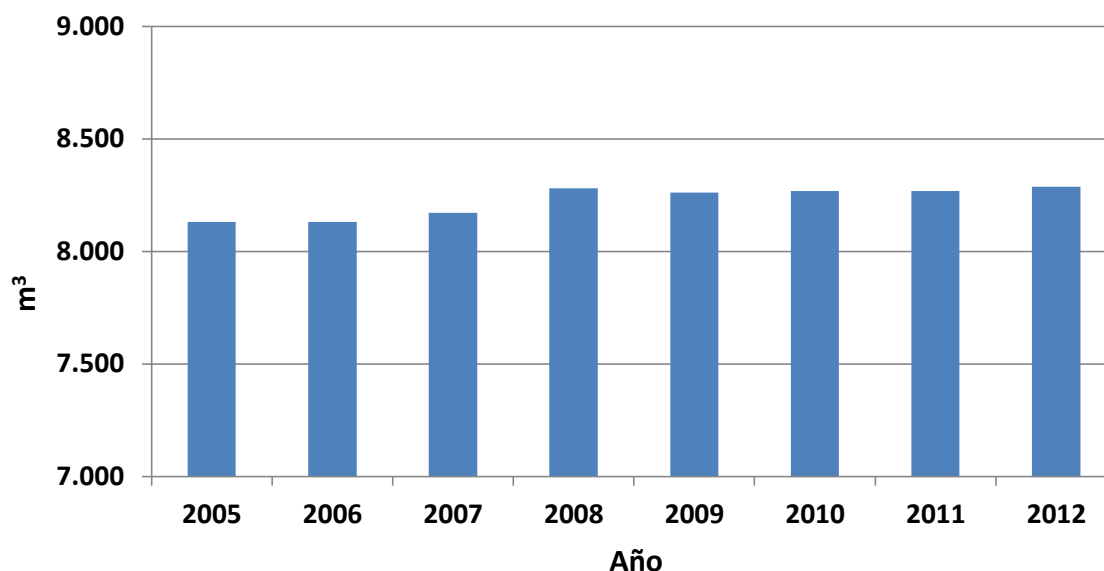


Tabla 29. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Guadalupe en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	236.520
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	8.225
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	3,09
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	28,76
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	8.225
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	3,09

Fuente: Elaboración Propia

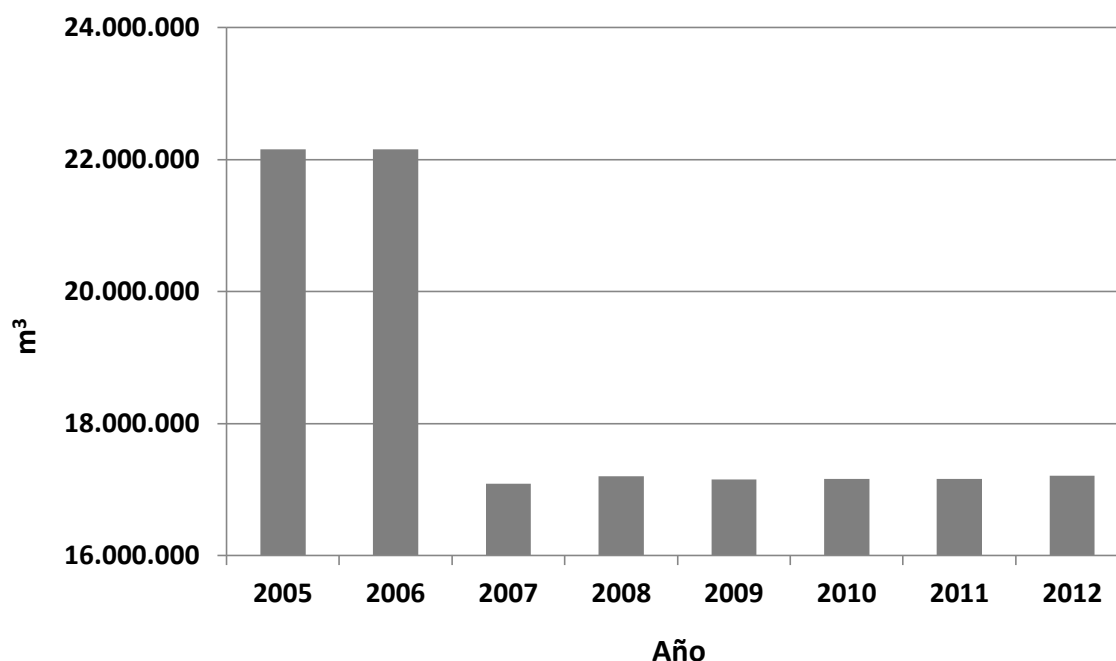
La huella hídrica azul en el municipio no presenta variaciones significativas en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Guadalupe se obtuvo en el año 2012, con una diferencia del 1% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en los años 2005 y 2006, con una diferencia del 1% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 7%.

3.8.2. Huella Hídrica Gris

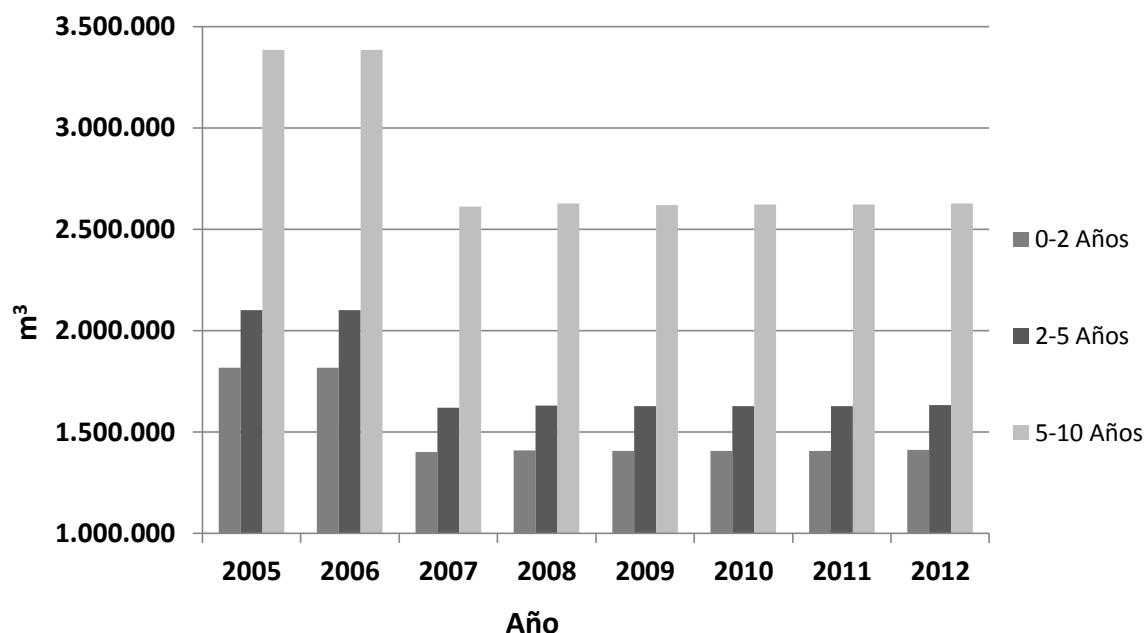
En la Figura 35 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 36 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 35. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Guadalupe



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta leves variaciones entre el año 2007 y 2012, sin embargo en los años 2005 y 2006 presenta variaciones significativas. La mayor huella hídrica gris se presenta en los años 2005 y 2006, con una diferencia del 20% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2007, con una diferencia del 7% con respecto al promedio.

Figura 36. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Guadalupe



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en los años 2005 y 2006, con una diferencia del 20% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2007, con una diferencia del 7% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal captado, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al disminuir el caudal captado en el 2007, el caudal vertido por la PTAP también disminuye y como consecuencia disminuye la huella hídrica gris en este año.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Huella hídrica gris del municipio de Guadalupe en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	18.412.302	6.910
Objetivos de Calidad 0-2 Años	1.509.800	567
Objetivos de Calidad 2-5 Años	1.746.075	655
Objetivos de Calidad 5-10 Años	2.812.625	1.056

Fuente: Elaboración Propia

3.9. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE LOS MILAGROS

El municipio de San Pedro de los Milagros está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 244,04 km², una población total proyectada de 23.634 habitantes para 2012 (46), con 11.989 habitantes en la cabecera municipal y 11.646 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la empresa de servicios públicos Acueductos y Alcantarillados Sostenibles S.A. E.S.P. (A.A.S. S.A. E.S.P).

El acueducto de San Pedro de los Milagros se abastece de las quebradas El Hato y San Francisco, ambas al interior de la cuenca del río Porce, y cada una con sus propias estructuras de captación, desarenador y aducción (41). El municipio cuenta con planta de potabilización (41).

El municipio cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales a partir del año 2009 (54). Los vertimientos de aguas residuales se realizan sobre las quebradas El Hato, Pulgarina y Miraflores (41), las cuales se encuentran al interior de la cuenca del río Porce.

En la Tabla 31 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 31. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de San Pedro de los Milagros

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudal captado en 2001 reportado en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PSMV)
$C_{IE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Asumido según algoritmo desde 2009. Antes de 2009 no cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	Se calcula a partir de 2009. Antes de 2009 no cuenta con PTAR
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos a partir de 2009 (ver Tabla 6). Antes de 2009 no cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos a partir de 2009 (ver Tabla 5). Antes de 2009 no cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.9.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 37 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de San Pedro de los Milagros.

Debido a que el municipio de San Pedro de los Milagros no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 32 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 37. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de San Pedro de los Milagros

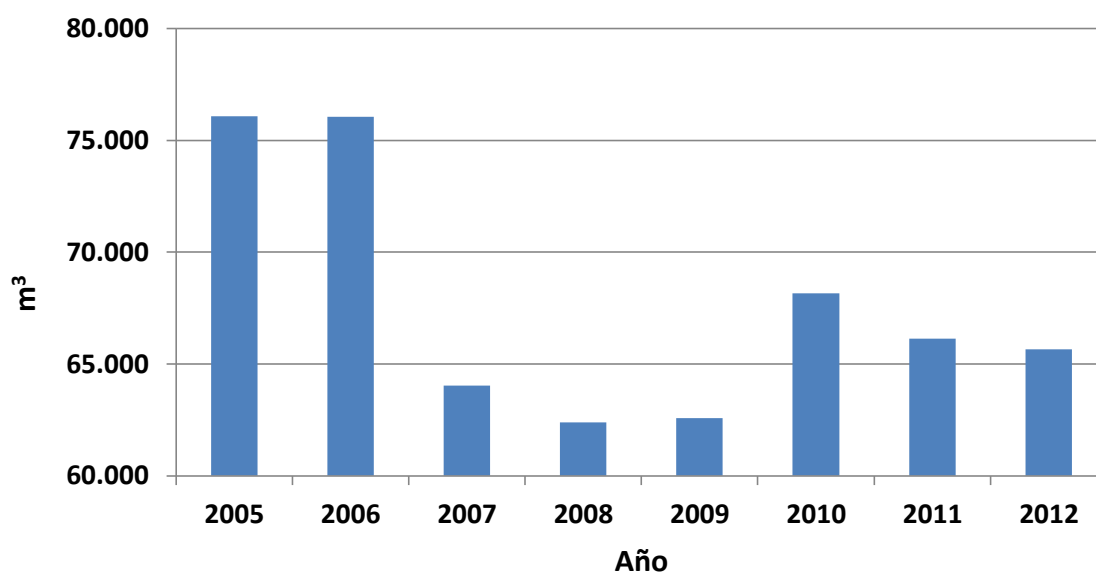


Tabla 32. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de San Pedro de los Milagros en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	1.892.160
HH _{Azul Positiva} (m ³ /año)	67.638
HH _{Azul Positiva} (m ³ /habitante)	4,01
HH _{Azul Positiva} (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	27,97
HH _{Azul Total} (m ³ /año)	67.638
HH _{Azul Total} (m ³ /habitante)	4,01

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones significativas en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de San Pedro de los Milagros se obtuvo en el año 2006, con una diferencia del 12% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2008, con una diferencia del 8% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan principalmente por las variaciones en el caudal consumido por el sector doméstico y el caudal distribuido, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. En el año 2007 se registra una disminución en el caudal consumido por el sector doméstico y por consiguiente la huella hídrica

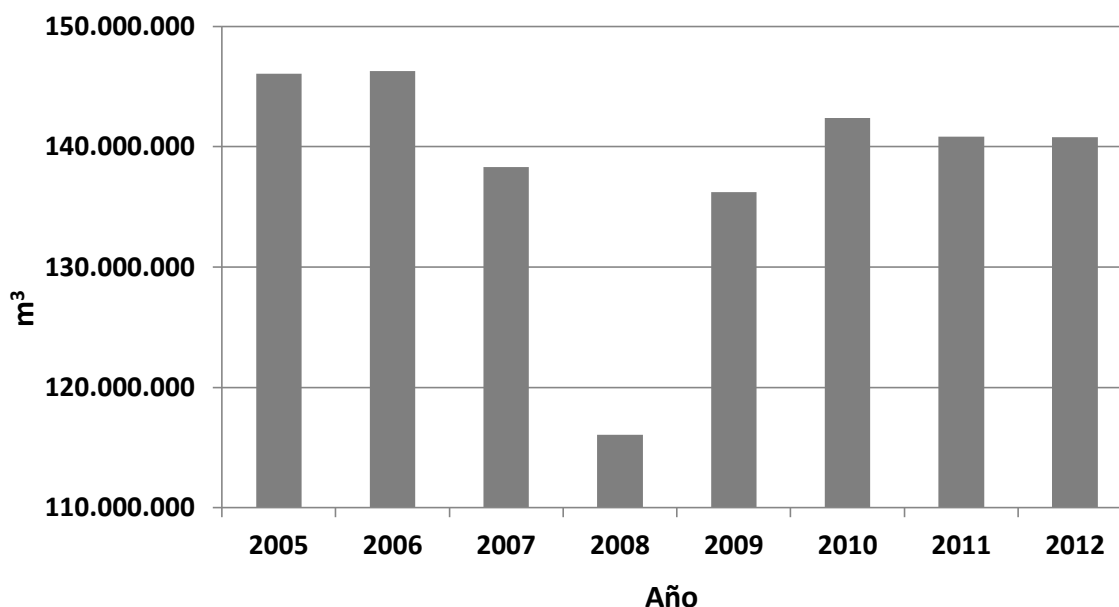
azul disminuye. En el año 2008 se registra una disminución en las horas de captación por día, lo que disminuye en consecuencia el caudal distribuido y por ende el consumido, dando así la menor huella hídrica azul. A partir del 2008 hay un aumento en el caudal distribuido, el cual sigue aumentando hasta el año 2010, luego del cual disminuye nuevamente. Por lo anterior la huella hídrica azul aumenta desde el 2008 hasta el 2010 y luego disminuye.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 11%.

3.9.2. Huella Hídrica Gris

En la Figura 38 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 39 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

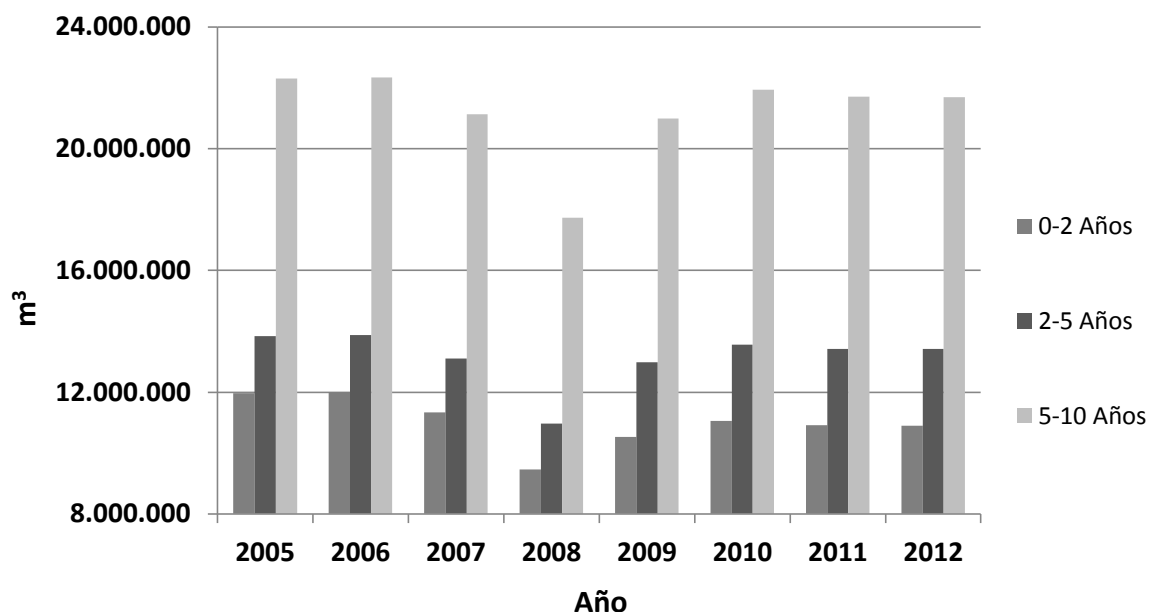
Figura 38. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de San Pedro de los Milagros



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta leves variaciones, sin embargo en el año 2008 hay una variación significativa. La

mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2006, con una diferencia del 6% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2008, con una diferencia del 16% con respecto al promedio.

Figura 39. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de San Pedro de los Milagros



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2006, con una diferencia entre el 9% y el 5% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2008, con una diferencia entre el 14% y el 17% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en el caudal consumido por el sector doméstico, en las horas de captación al día y en la presencia de la PTAR a partir del 2009. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al disminuir el caudal captado como consecuencia de la disminución en las horas de captación al día en el 2008, el caudal vertido por la PTAP disminuye, y por consiguiente disminuye también la huella hídrica gris en este año. En el 2009 vuelven a aumentar las horas de captación al día, con lo que aumenta el caudal

vertido en la PTAP y la huella hídrica gris. También se debe considerar el funcionamiento de la PTAR a partir del 2009, con lo que se reducen las cargas contaminantes en el vertimiento de la planta, contribuyendo a la disminución de la huella hídrica gris.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Huella hídrica gris del municipio de San Pedro de los Milagros en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	138.363.680	8.210
Objetivos de Calidad 0-2 Años	11.018.228	654
Objetivos de Calidad 2-5 Años	13.127.490	779
Objetivos de Calidad 5-10 Años	21.230.879	1.260

Fuente: Elaboración Propia

3.10. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE OSOS

El municipio de Santa Rosa de Osos está localizado en la subregión Norte del departamento de Antioquia. Tiene una extensión de 850,96 km², una población total proyectada de 32.688 habitantes para 2012 (46), con 16.151 habitantes en la cabecera municipal y 16.537 habitantes en zona rural.

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio es administrado, mantenido y operado por la empresa de servicios públicos Acueductos y Alcantarillados Sostenibles S.A. E.S.P. (A.A.S. S.A. E.S.P).

El acueducto de Santa Rosa de Osos se abastece de la quebrada Las Cruces (32), la cual se encuentra al interior de la cuenca del río Porce. El municipio cuenta con planta de potabilización, sin embargo el sistema de captación no cuenta con desarenadores (32).

El municipio cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales a partir del año 2011 (55). Las descargas de aguas residuales se realizan directamente sobre

diversas corrientes y cañadas que circundan el perímetro urbano, todas ellas al interior de la cuenca del río Porce (32).

En la Tabla 34 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica para este municipio.

Tabla 34. Parámetros para el cálculo de la huella hídrica en el municipio de Santa Rosa de Osos

Parámetro	Fuente
$Q_{CAP\ CUE}$	Caudal captado en 2001 reportado en el SUI
Q_{IMP}	No hay captaciones por fuera de la cuenca (PSMV)
$C_{iE\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{empacado}$	No se empaca agua
$Q_{V\ PTAP}$	Calculado
$C_{iV\ PTAP}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$Q_{D\ PTAP}$	Caudales distribuidos de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$\%P$	Calculado
$\%FT$	Asumido según algoritmo
$C_{iV\ AI}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
Q_{CF}	Consumos facturados de 2005 a 2012 reportados en el SUI
$Q_{V\ USU}$	Calculado
$Q_{V\ ST}$	Calculado
$C_{iV\ ST}$	Asumidas según valores típicos (ver Tabla 5)
$\%Q_{TRA\ PTAR}$	Asumido según algoritmo desde 2011. Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$Q_{TRA\ PTAR}$	Se calcula a partir de 2011. Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$\%R_i$	Asumidos según valores típicos a partir de 2011 (ver Tabla 6). Antes de 2011 no cuenta con PTAR
$C_{iV\ PTAR}$	Asumidas según valores típicos a partir de 2011 (ver Tabla 5). Antes de 2011 no cuenta con PTAR

Fuente: Elaboración Propia

3.10.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 40 se presentan los valores de huella hídrica azul, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Santa Rosa de Osos.

Debido a que el municipio de Santa Rosa de Osos no importa agua de otras cuencas, la huella hídrica azul corresponde a la huella hídrica azul positiva del municipio. En la Tabla 35 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en

metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Figura 40. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para el municipio de Santa Rosa de Osos

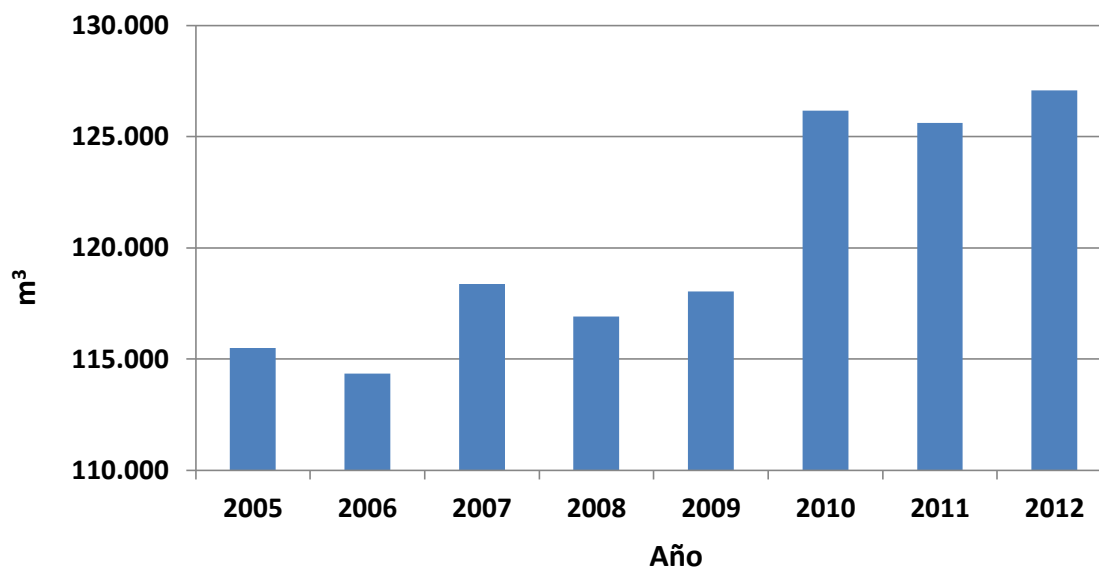


Tabla 35. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en el municipio de Santa Rosa de Osos en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m ³ /año)	0
Agua Transvasada (m ³ /habitante)	0
Agua extraída de la cuenca (m ³ /año)	2.365.200
HH Azul Positiva (m ³ /año)	120.260
HH Azul Positiva (m ³ /habitante)	4,36
HH Azul Positiva (m ³ extraídos/m ³ consumidos)	19,67
HH Azul Total (m ³ /año)	120.260
HH Azul Total (m ³ /habitante)	4,36

Fuente: Elaboración Propia

La huella hídrica azul en el municipio presenta variaciones significativas en el periodo evaluado. La mayor huella hídrica azul para el municipio de Santa Rosa de Osos se obtuvo en el año 2012, con una diferencia del 6% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica azul se obtuvo en el año 2006, con una diferencia del 5% con respecto al promedio. Estas diferencias se dan

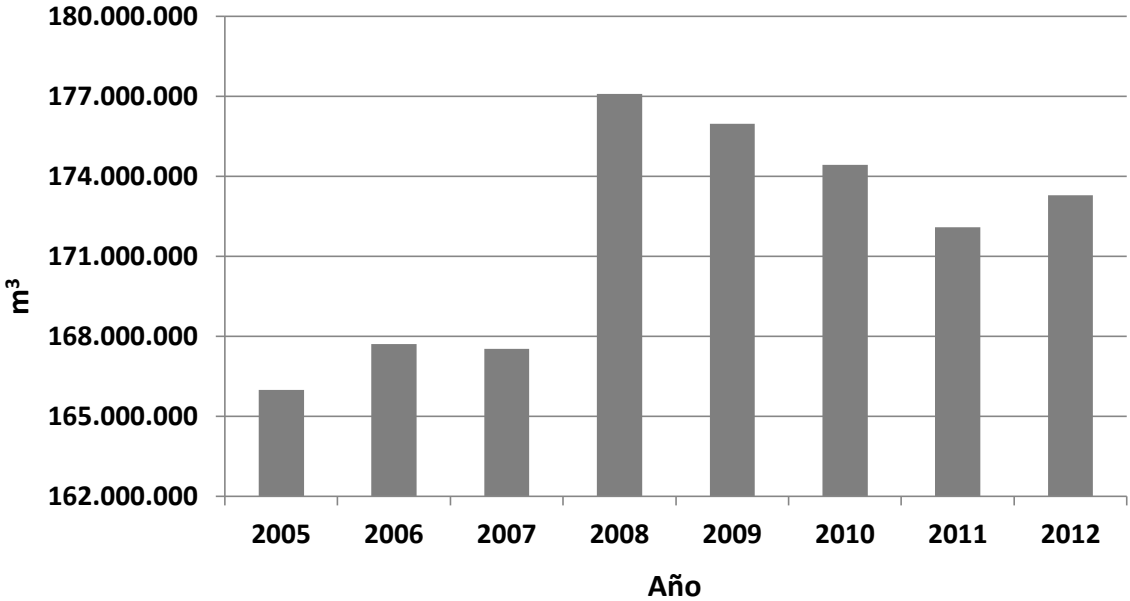
principalmente por las variaciones en el caudal distribuido y en las horas de captación al día, lo que afecta directamente la cantidad de agua consumida, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica azul no cambian significativamente. Entre el 2005 y el 2007 las horas de captación al día fueron menores a las horas de captación al día en los demás años, lo que disminuye la cantidad de agua consumida y por ende la huella hídrica azul durante estos tres años. A partir del 2010 se registra un aumento en el caudal distribuido con lo que aumenta la huella hídrica azul.

El municipio presenta un porcentaje de pérdidas promedio del 27%.

3.10.2. Huella Hídrica Gris

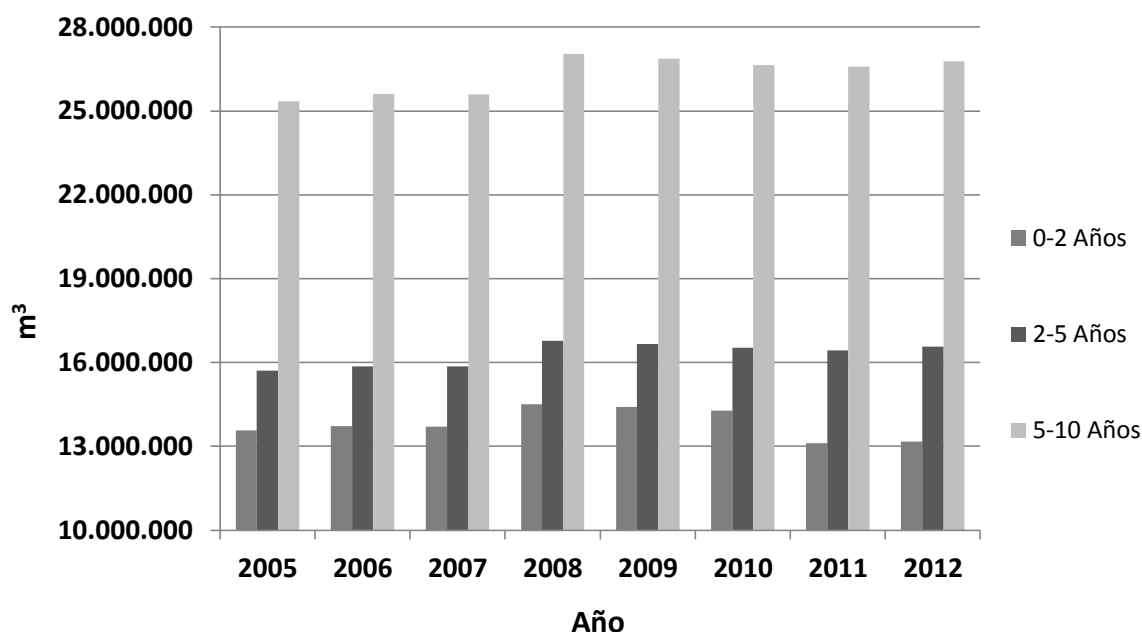
En la Figura 41 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales. En la Figura 42 se presentan los valores de huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 41. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según normas internacionales para el municipio de Santa Rosa de Osos



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, presenta variaciones significativas. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2008, con una diferencia del 3% con respecto al promedio, mientras que la menor huella hídrica gris se presenta en el año 2005, con una diferencia del 3% con respecto al promedio.

Figura 42. Huella hídrica gris desde el 2005 hasta el 2012 según Objetivos de Calidad para el municipio de Santa Rosa de Osos



La huella hídrica gris total del municipio, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total, calculada usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, pues la única diferencia se presenta en las concentraciones máximas permisibles. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2008, con una diferencia entre el 5% y el 3% con respecto a los promedios, mientras que las menores huellas hídricas grises se presentan en el año 2005, con una diferencia entre el 5% y el 4% con respecto a los promedios.

Los cambios en la huella hídrica gris se dan por la variación en las horas de captación al día y la presencia de la PTAR a partir del 2011, pues las demás variables relacionadas con la huella hídrica gris no presentan variaciones significativas. Para este municipio el caudal vertido por la PTAP es calculado en base al caudal captado y al caudal distribuido. Al ser menos las horas de captación al día en los primeros tres años, el caudal vertido por la PTAP

disminuye, y como consecuencia disminuye también la huella hídrica gris en estos años. A partir del 2008 aumentan las horas de captación al día, con lo que aumentan todos los caudales vertidos y por consiguiente la huella hídrica gris. En el 2011 entra en funcionamiento la PTAR, disminuyendo las cargas contaminantes en el vertimiento de la planta y contribuyendo a la disminución de la huella hídrica gris a partir de este año.

Se calculó la huella hídrica gris total en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36. Huella hídrica gris del municipio de Santa Rosa de Osos en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	171.753.900	6.226
Objetivos de Calidad 0-2 Años	13.811.987	501
Objetivos de Calidad 2-5 Años	16.269.662	590
Objetivos de Calidad 5-10 Años	26.312.663	954

Fuente: Elaboración Propia

3.11. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO PORCE

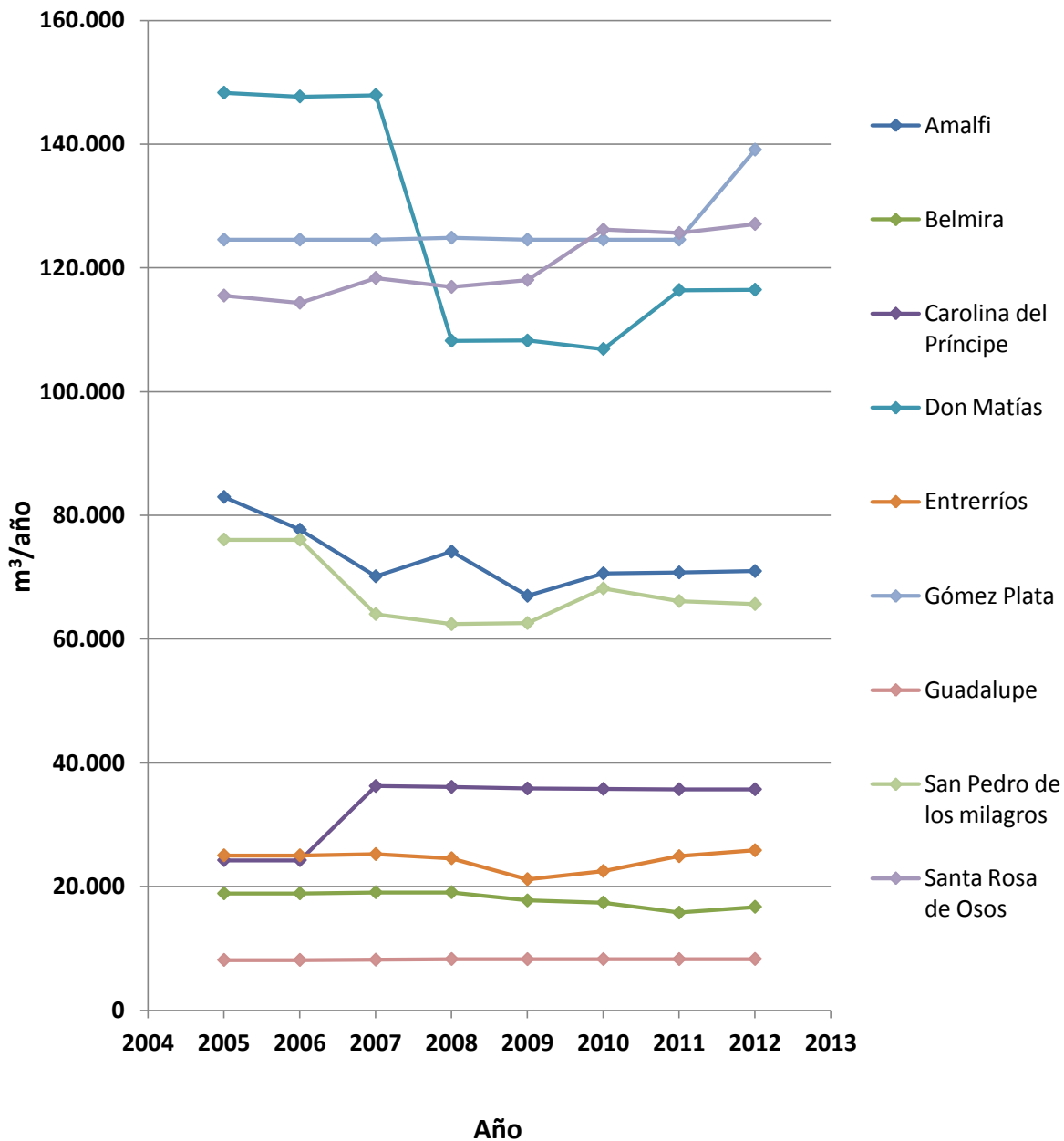
La huella hídrica de la cuenca es la combinación de las huellas hídricas de cada uno de los municipios que la conforman, teniendo en cuenta los principales procesos que ocurren en su interior, desde la captación de agua hasta la disposición final de los vertimientos generados.

3.11.1. Huella Hídrica Azul

En la Figura 43 se muestra el comportamiento de la huella hídrica azul en cada municipio, exceptuando el Área Metropolitana, entre el 2005 y el 2012. Durante dicho periodo la huella hídrica azul promedio del Área Metropolitana equivale a 27.868.755 m³/año, siendo esta la mayor huella hídrica azul positiva en la cuenca, y el agua transvasada promedio equivale a 163.873.260 m³/año.

Las mayores huellas hídricas azules se presentan en los municipios de Don Matías, Gómez Plata y Santa Rosa de Osos, entre 100.000 y 150.000 m³/año, y las menores se presentan en Guadalupe y Belmira, entre 7.000 y 20.000 m³/año. Los municipios de Entrerríos y Carolina del Príncipe presentan huellas hídricas azules entre 20.000 y 40.000 m³/año, y los municipios de Amalfi y San Pedro de los Milagros, entre 60.000 y 80.000 m³/año.

Figura 43. Comportamiento de la huella hídrica azul por municipios

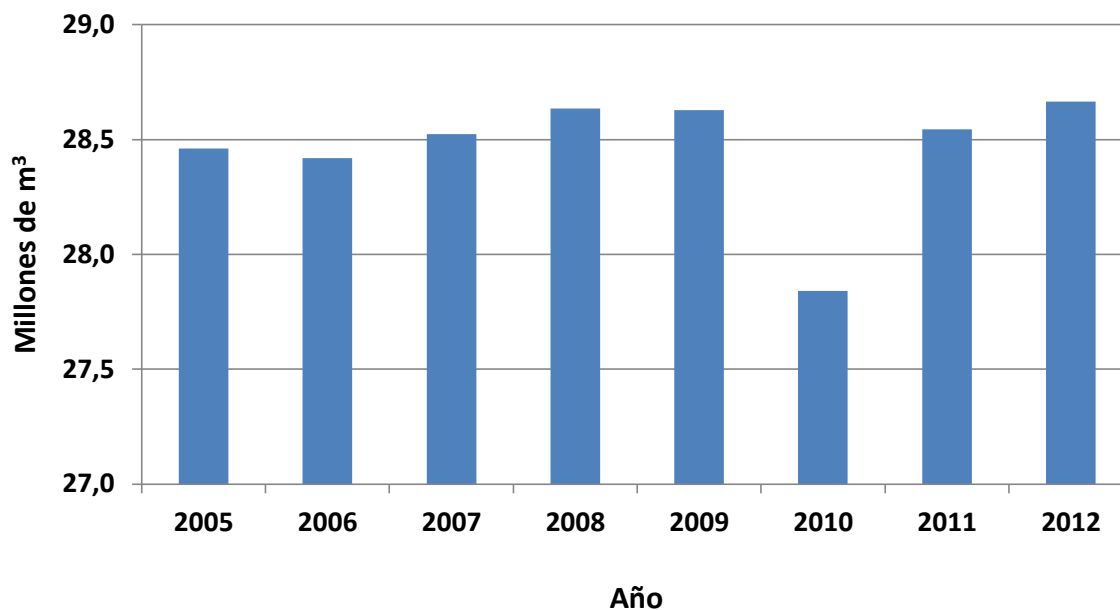


Al tener las huellas hídricas azules año a año en cada municipio es posible calcular la huella hídrica azul en la cuenca. En la Figura 44 se presenta la huella hídrica azul positiva en la cuenca del río Porce entre los años 2005 y 2012.

La huella hídrica azul positiva no presenta variaciones significativas durante todo el periodo de evaluación, exceptuando el año 2010, en el que se registra una disminución. La mayor huella hídrica azul positiva se presenta en el año 2012, con una diferencia del 0,7% con respecto al promedio, y la menor se presenta en el año 2010, con una diferencia del 2,2% con respecto al promedio. Estas variaciones dependen de los cambios registrados en cada uno de los municipios durante el periodo de evaluación.

El porcentaje de pérdidas es un factor importante en todo el proceso de distribución de agua. Lo ideal es que las pérdidas sean mínimas para garantizar una mayor eficiencia en dicho proceso. En la cuenca del río Porce se presenta un porcentaje de pérdidas del 29% en promedio. El municipio que presenta mayores pérdidas es Don Matías con un porcentaje de pérdidas del 51% y el que presenta menores pérdidas es Guadalupe, con un porcentaje de pérdidas del 7%.

Figura 44. Huella hídrica azul desde el 2005 hasta el 2012 para la cuenca del río Porce



En la Tabla 37 se presentan los valores de huella hídrica azul, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, al igual que la cantidad de agua transvasada y de agua extraída de la cuenca en un año típico.

Tabla 37. Huella hídrica azul, agua transvasada y agua extraída en la cuenca del río Porce en un año típico

Parámetro	Valor
Agua Transvasada (m³/año)	163.873.260
Agua Transvasada (m³/habitante)	51,63
Agua extraída de la cuenca (m³/año)	163.164.303
HH Azul Positiva (m³/año)	28.464.561
HH Azul Positiva (m³/habitante)	8,97
HH Azul Positiva (m³ extraídos/m³ consumidos)	5,73
HH Azul Total (m³/año)	-135.408.699
HH Azul Total (m³/habitante)	-1,20

Fuente: Elaboración Propia

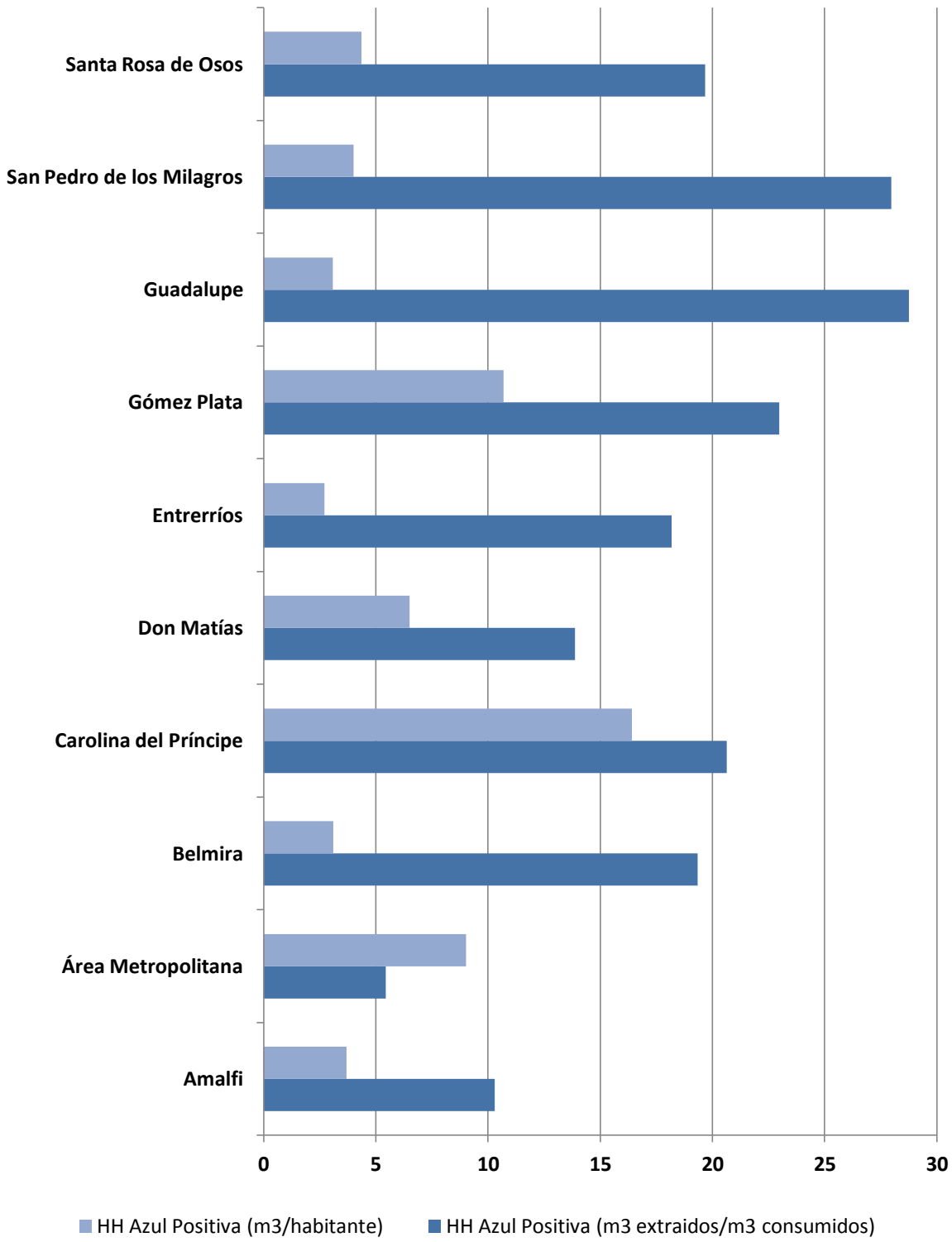
Se encontró que en la cuenca del río Porce el 50% del agua captada se importa desde el embalse La Fe. La huella hídrica azul total es negativa debido a que la cantidad de agua importada es mayor a la cantidad de agua captada en el interior de la cuenca, por lo que se puede compensar la huella hídrica azul de los usuarios que han consumido el agua de la cuenca.

En la Figura 45 se presentan los valores de huella hídrica azul positiva, en metros cúbicos por habitante al interior de la cuenca, y la cantidad de agua extraída de la cuenca por cada metro cúbico consumido en los diferentes municipios.

Los municipios que presentan un mayor consumo de agua per cápita son Carolina del príncipe y Gómez Plata, con huellas hídricas azules entre 10 y 16,5 m³/habitante/año. Don Matías y el Área Metropolitana presentan consumos per cápita entre 5 y 9 m³/habitante/año. Los demás municipios tienen consumos per cápita menores a los 5 m³/habitante/año, presentándose el menor consumo en el municipio de Entreríos.

Los municipios que requieren una mayor extracción de agua de la cuenca por cada metro cúbico consumido son Carolina del Príncipe, Gómez Plata, Guadalupe y San Pedro de los Milagros, con huellas hídricas azules positivas superiores a los 20 m³ extraídos/m³ consumido. Los demás municipios presentan huellas hídricas azules positivas entre 10 y 20 m³ extraídos/m³ consumido. El Área Metropolitana es un caso especial debido a la importación de agua, lo que hace que la cantidad de agua extraída de la cuenca disminuya, y por ende su huella hídrica azul.

Figura 45. Huella hídrica azul positiva por habitante y agua extraída por metro cúbico consumido en los diferentes municipios de la cuenca



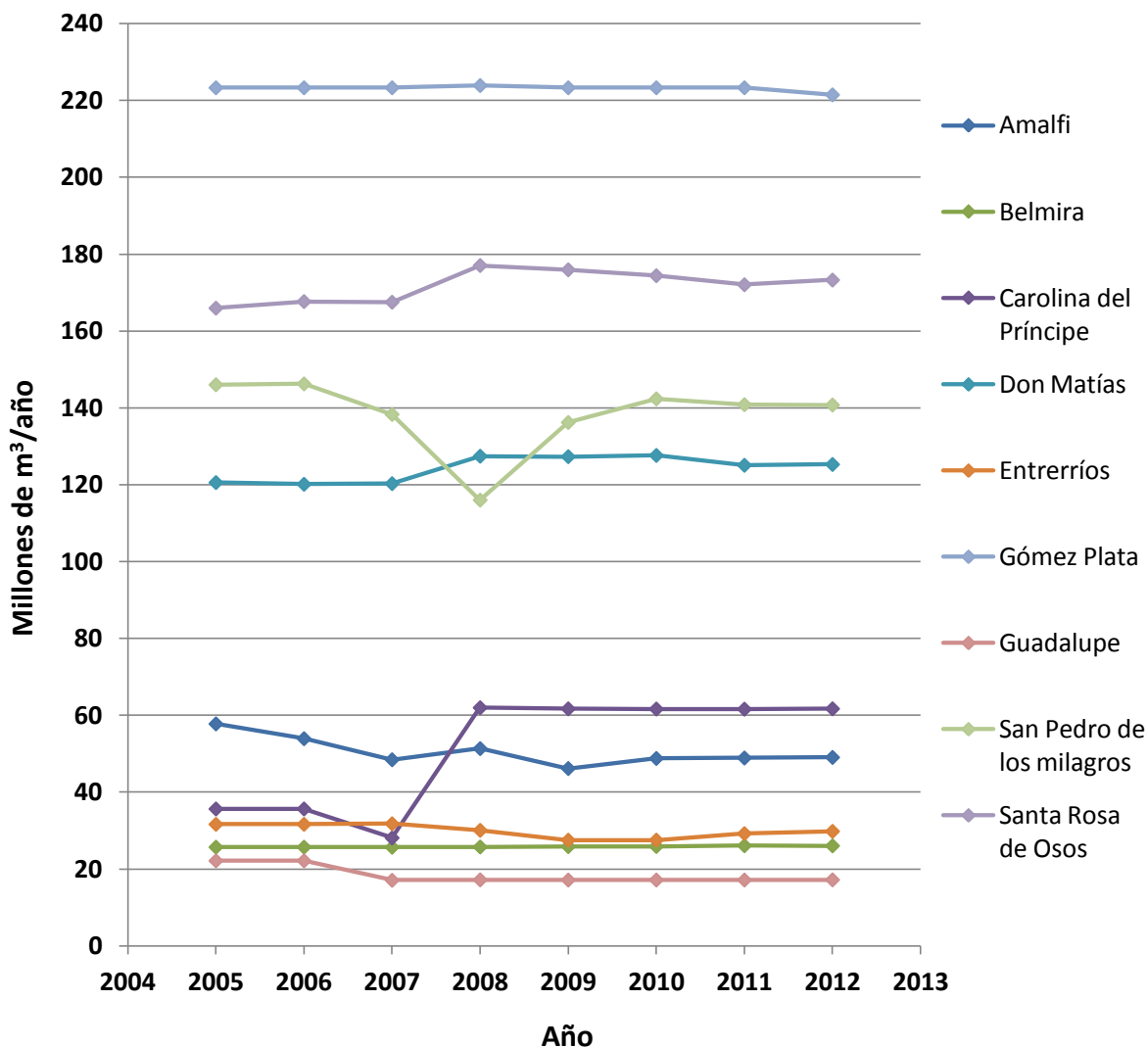
3.11.2. Huella Hídrica Gris

En la Figura 46 se presenta el comportamiento de la huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales, en cada municipio, exceptuando el Área Metropolitana. Durante dicho periodo la huella hídrica gris promedio del Área Metropolitana, calculada con normas internacionales, equivale a 20.676 millones de m³/año, siendo esta la mayor huella hídrica gris en la cuenca.

En las Figuras 47 - 49 se presenta el comportamiento de la huella hídrica gris, en metros cúbicos por año, desde el 2005 hasta el 2012 usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en los Objetivos de Calidad del río Aburrá - Medellín, en cada municipio, exceptuando el Área Metropolitana. Durante dicho periodo la huella hídrica gris promedio del Área Metropolitana, calculada con base en los Objetivos de Calidad, equivale a 1.561 millones de m³/año para el periodo de 0 a 2 años, 2.008 millones de m³/año para el periodo de 2 a 5 años y 3.247 millones de m³/año para el periodo de 5 a 10 años, siendo en todos los casos las mayores huellas hídricas grises en la cuenca.

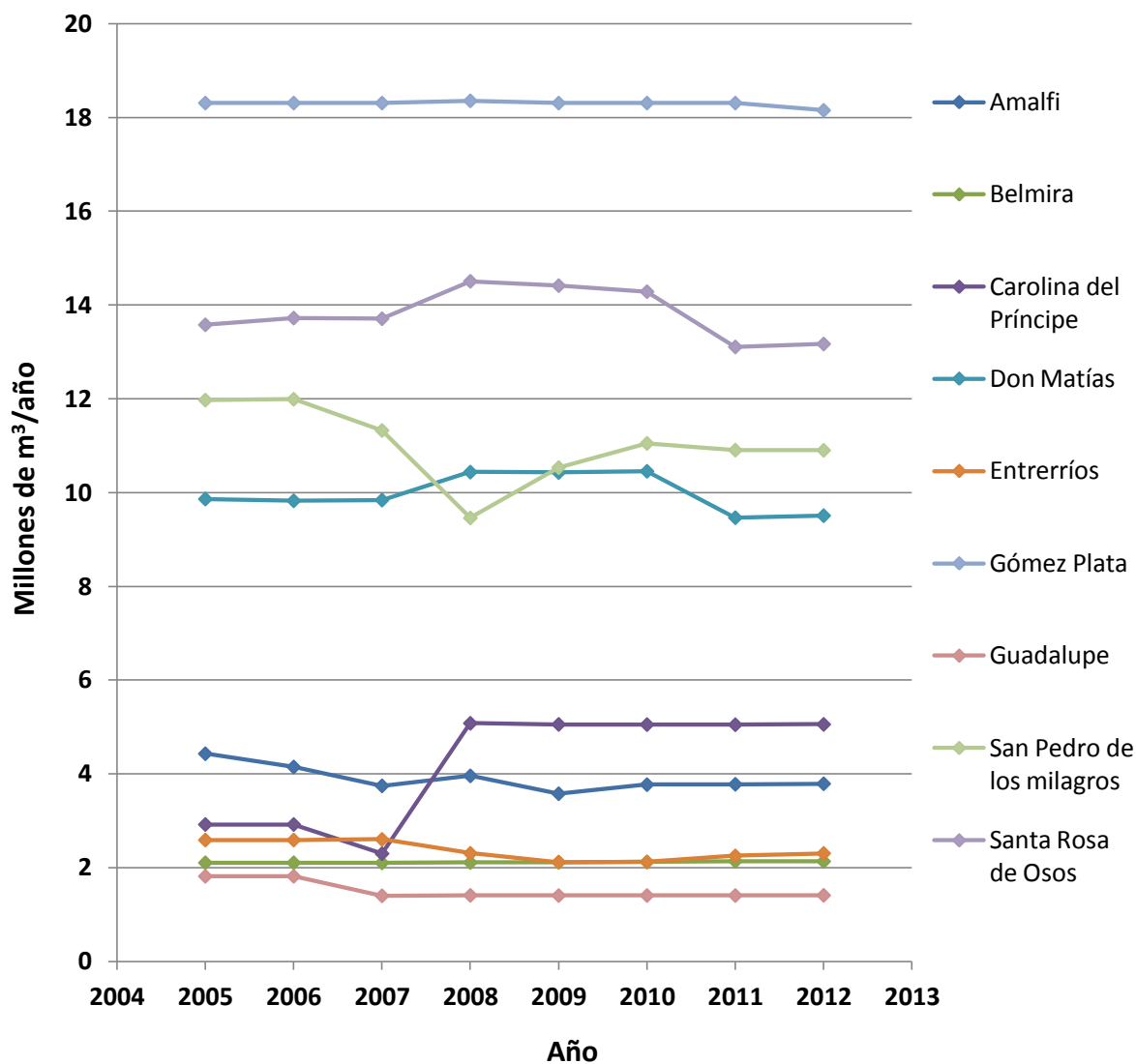
En todos los casos la mayor huella hídrica gris se presenta en el municipio de Gómez Plata, y la menor se presenta en Guadalupe. Las diferencias entre los valores de huella hídrica gris se dan por las concentraciones máximas permitidas usada en el cálculo. Las normas internacionales fijan los valores de concentración requeridos para que el agua sea fácilmente apta para consumo, sin considerar los usos actuales del río como receptor de vertimientos principalmente, por lo tanto se requiere una mayor cantidad de agua para diluir las cargas contaminantes hasta dichas concentraciones. Los Objetivos de Calidad, a diferencia de las normas internacionales, tienen en cuenta los diferentes usos del recurso hídrico, como receptor de vertimientos y de residuos domésticos, por lo que la cantidad de agua requerida para disminuir las cargas contaminantes hasta los valores permitidos es menor.

Figura 46. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en normas internacionales



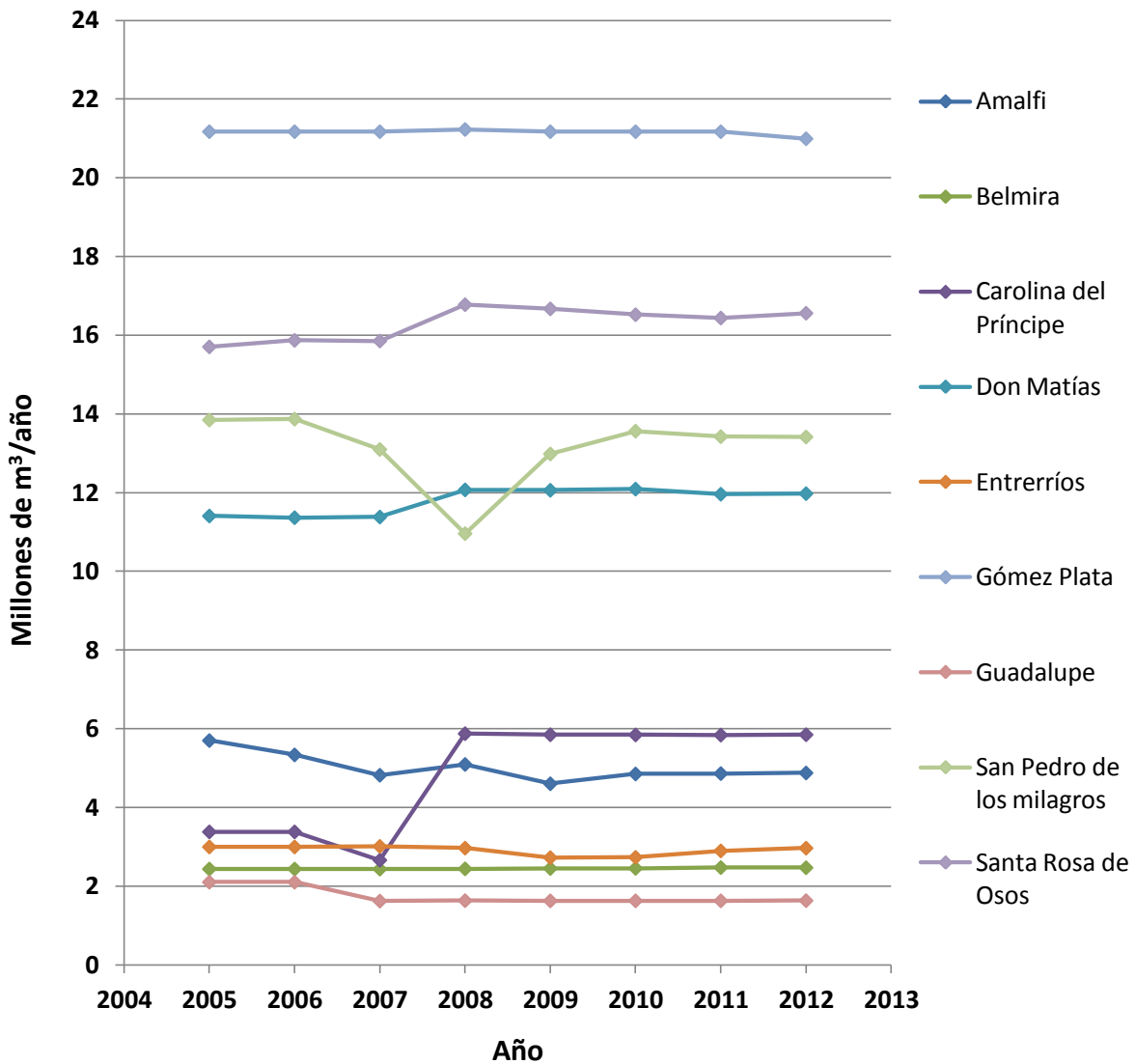
Al calcular la huella hídrica gris con base en normas internacionales se obtiene la mayor huella hídrica gris en el municipio de Gómez Plata, cercana a los 220 millones de $m^3/año$. Las huellas hídricas grises en Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros y Don Matías se encuentran entre 120 y 180 millones de $m^3/año$, para los demás municipios se encuentran entre 20 y 60 millones de $m^3/año$, presentándose la menor huella hídrica en Guadalupe.

Figura 47. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburra – Medellín para el periodo de 0 a 2 años.



Al calcular la huella hídrica gris con base en los Objetivos de Calidad para el periodo de 0 a 2 años, se obtiene la mayor huella hídrica gris en el municipio de Gómez Plata, cercana a los 18 millones de $m^3/año$. Las huellas hídricas grises en Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros y Don Matías se encuentran entre 10 y 14 millones de $m^3/año$, para los demás municipios se encuentran entre 1.5 y 5 millones de $m^3/año$, presentándose la menor huella hídrica en Guadalupe.

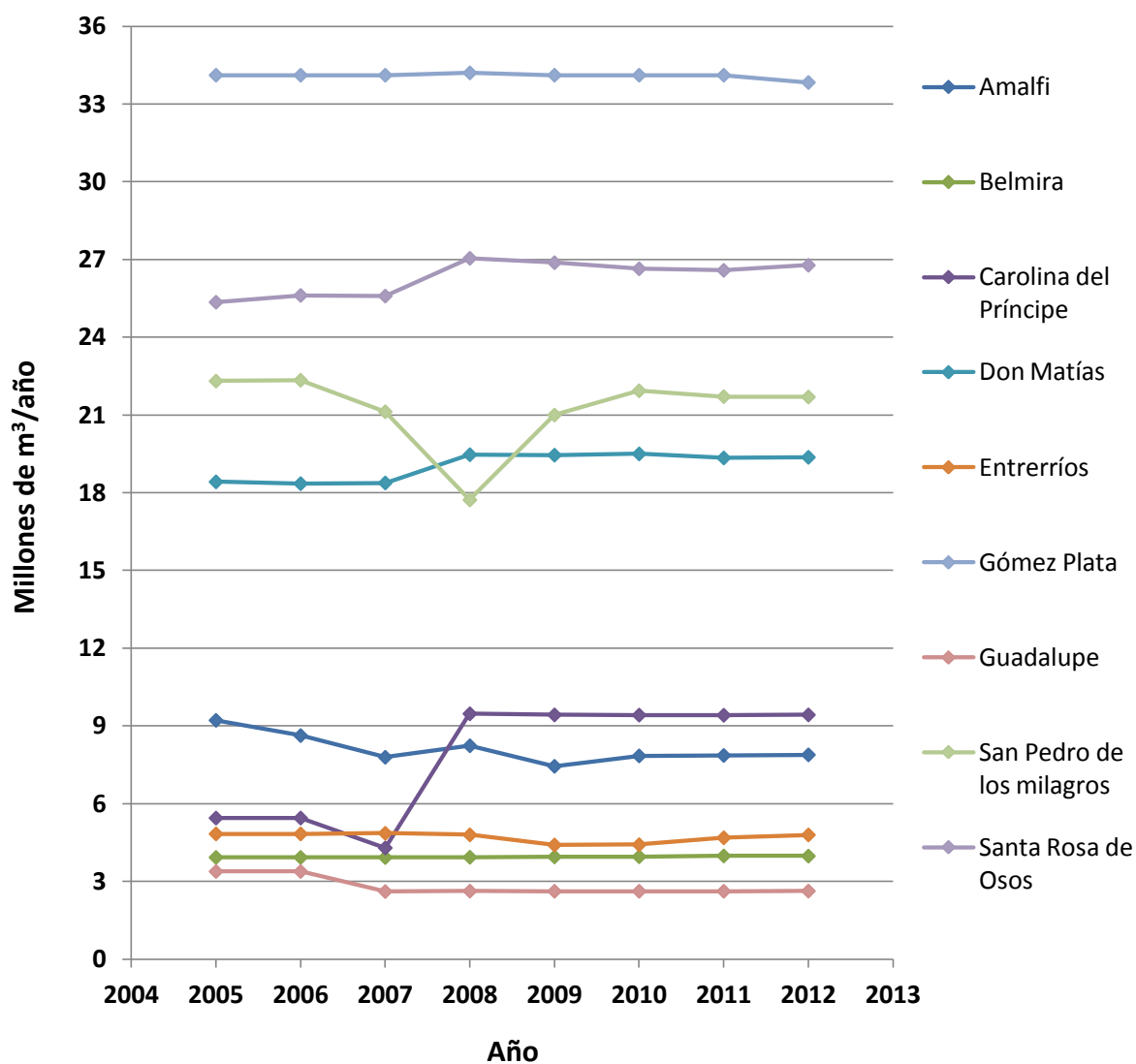
Figura 48. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para el periodo de 2 a 5 años.



Al calcular la huella hídrica gris con base en los Objetivos de Calidad para el periodo de 2 a 5 años, se obtiene la mayor huella hídrica gris en el municipio de Gómez Plata, cercana a los 21 millones de $m^3/año$. Las huellas hídricas grises en Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros y Don Matías se encuentran entre 11 y 17 millones de $m^3/año$, para los demás municipios se encuentran entre 1.5 y 6 millones de $m^3/año$, presentándose la menor huella hídrica en Guadalupe.

Se presenta una huella hídrica mayor a la anterior debido a que en este periodo disminuyen las concentraciones máximas permisibles con lo que se necesita una mayor cantidad de agua para diluir las cargas contaminantes hasta los valores requeridos.

Figura 49. Comportamiento de la huella hídrica gris por municipios calculada con base en Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para el periodo de 5 a 10 años.



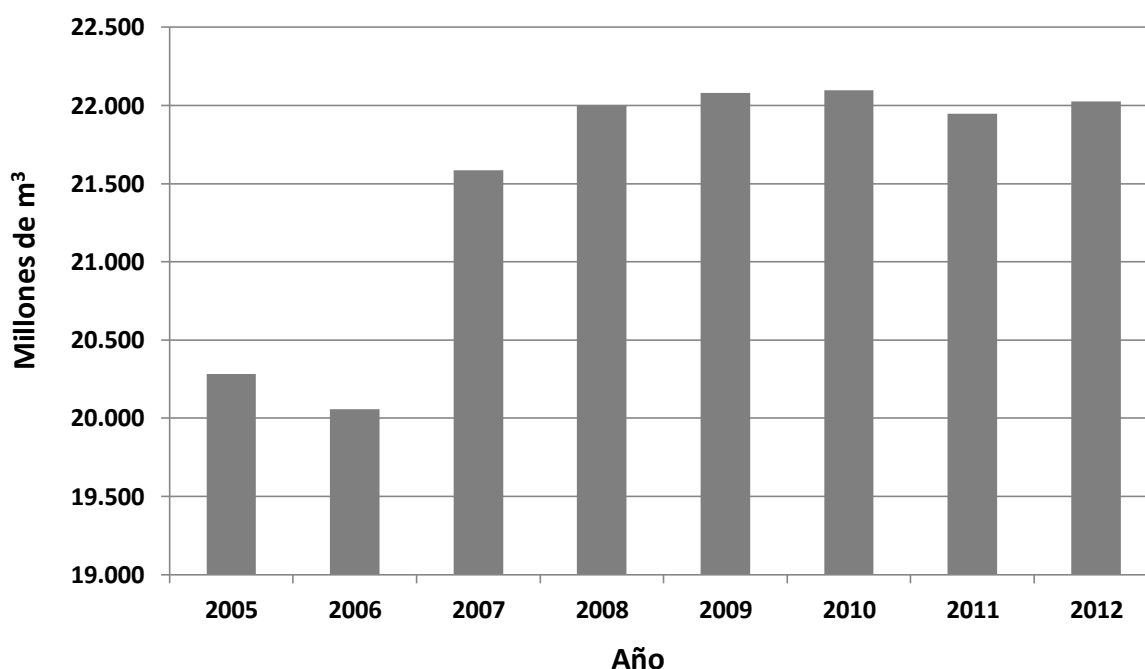
Al calcular la huella hídrica gris con base en los Objetivos de Calidad para el periodo de 5 a 10 años, se obtiene la mayor huella hídrica gris en el municipio de Gómez Plata, cercana a los 34 millones de $m^3/año$. Las huellas hídricas grises en Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros y Don Matías se encuentran entre 18 y 27 millones de $m^3/año$, para los demás municipios se encuentran entre 2.5 y 9 millones de $m^3/año$, presentándose la menor huella hídrica en Guadalupe.

Se presenta una huella hídrica mayor a la anterior debido a que en este periodo disminuyen nuevamente las concentraciones máximas permisibles con lo que se necesita una mayor cantidad de agua para diluir las cargas contaminantes hasta los valores requeridos.

En algunos municipios las huellas hídricas grises calculadas en base a los Objetivos de calidad, no presentan el mismo comportamiento que las huellas hídricas grises calculadas en base a normas internacionales, incluso en algunos casos se presentan variaciones en el comportamiento de la huella hídrica gris en los diferentes periodos considerados en los Objetivos de calidad. Estas variaciones se deben a que no en todos los casos los contaminantes que tienen un mayor aporte a la huella hídrica gris son los mismos.

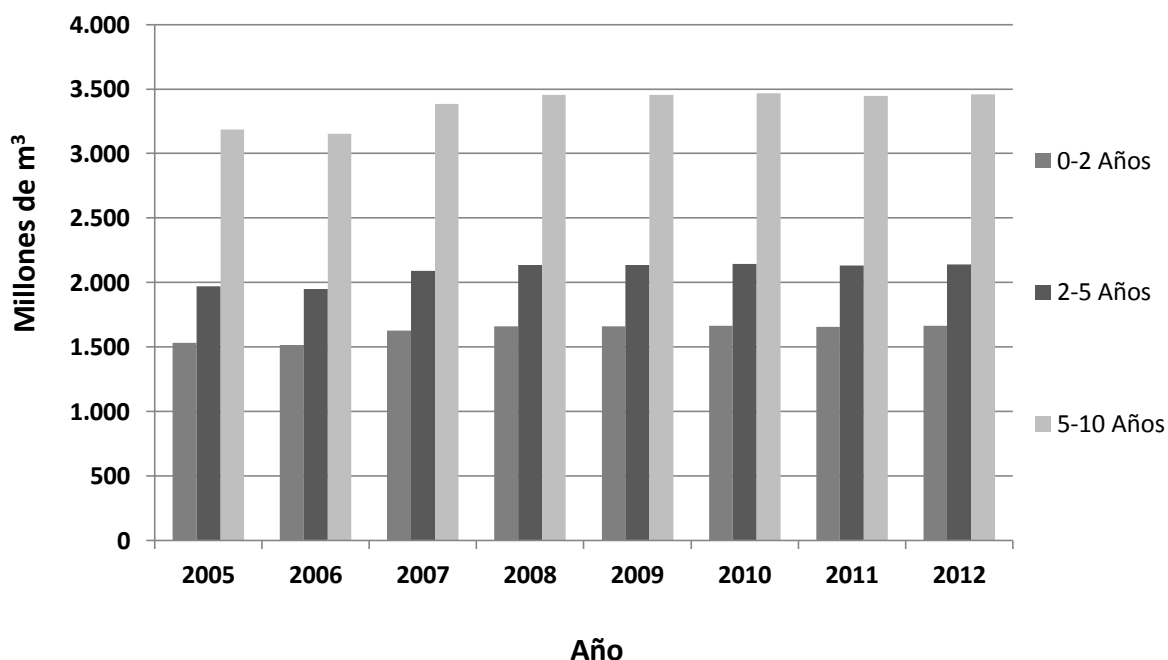
Al tener las huellas hídricas grises año a año en cada municipio es posible calcular la huella hídrica gris en la cuenca. En la Figura 50 se presenta la huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a normas internacionales, entre los años 2005 y 2012, y en la Figura 51 se presenta la huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a los Objetivos de Calidad, entre los años 2005 y 2012.

Figura 50. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a normas internacionales



La huella hídrica gris total, calculada en base a normas internacionales, no presenta variaciones significativas durante todo el periodo de evaluación, exceptuando los dos primeros años, en los que se registra una disminución. La mayor huella hídrica gris se presenta en el año 2010, con una diferencia del 3% con respecto al promedio, y la menor se presenta en el año 2006, con una diferencia del 7% con respecto al promedio

Figura 51. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce, calculada en base a los Objetivos de Calidad



La huella hídrica gris total, calculada en base a los Objetivos de Calidad, se comporta de la misma manera que la huella hídrica gris total calculada en base a normas internacionales. Las mayores huellas hídricas grises se presentan en el año 2010, con una diferencia del 3% con respecto a los promedios, y las menores se presentan en el año 2006, con una diferencia del 7% con respecto a los promedios.

Las variaciones en los valores de huella hídrica gris, calculada tanto en base a normas internacionales como en base a los Objetivos de Calidad, dependen de los cambios registrados en cada uno de los municipios durante el periodo de evaluación.

Se calculó la huella hídrica gris total de la cuenca del río Porce en un año típico, tanto en metros cúbicos por año como en metros cúbicos por habitante dentro de la cuenca, usando como concentraciones máximas permisibles los valores reportados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá – Medellín para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años. Dichos valores se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38. Huella hídrica gris en la cuenca del río Porce en un año típico

Parámetro	HH Gris Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	21.508.804.585	6709
Objetivos de Calidad 0-2 Años	1.622.514.965	506
Objetivos de Calidad 2-5 Años	2.086.975.356	651
Objetivos de Calidad 5-10 Años	3.375.231.748	1053

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 52 se presenta la huella hídrica gris per cápita en cada uno de los municipios en la cuenca del río Porce, calculada en base a normas internacionales, en un año típico, y en la Figura 53 se presenta la huella hídrica gris per cápita en cada uno de los municipios en la cuenca del río Porce, calculada en base a los Objetivos de Calidad, en un año típico, para los periodos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 10 años.

Figura 52. Huella hídrica gris per cápita por municipios calculada en base a normas internacionales

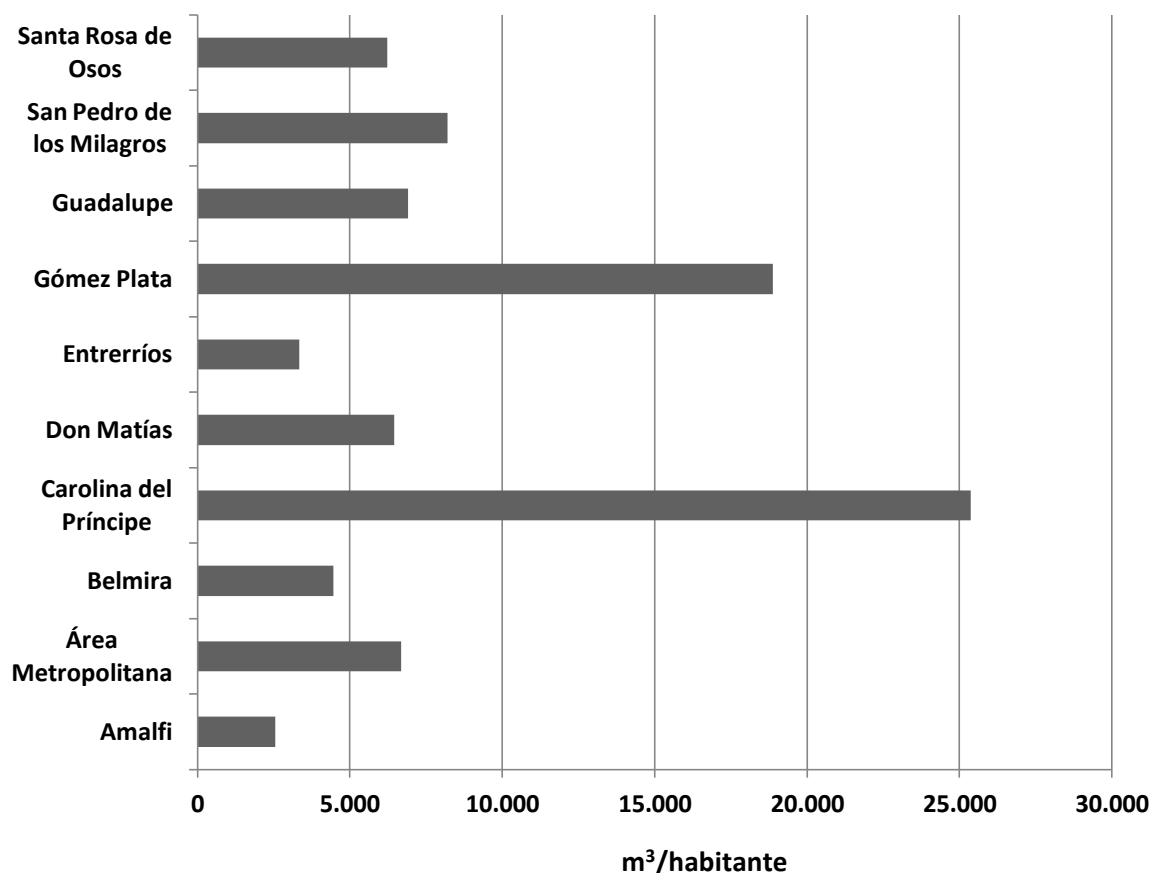
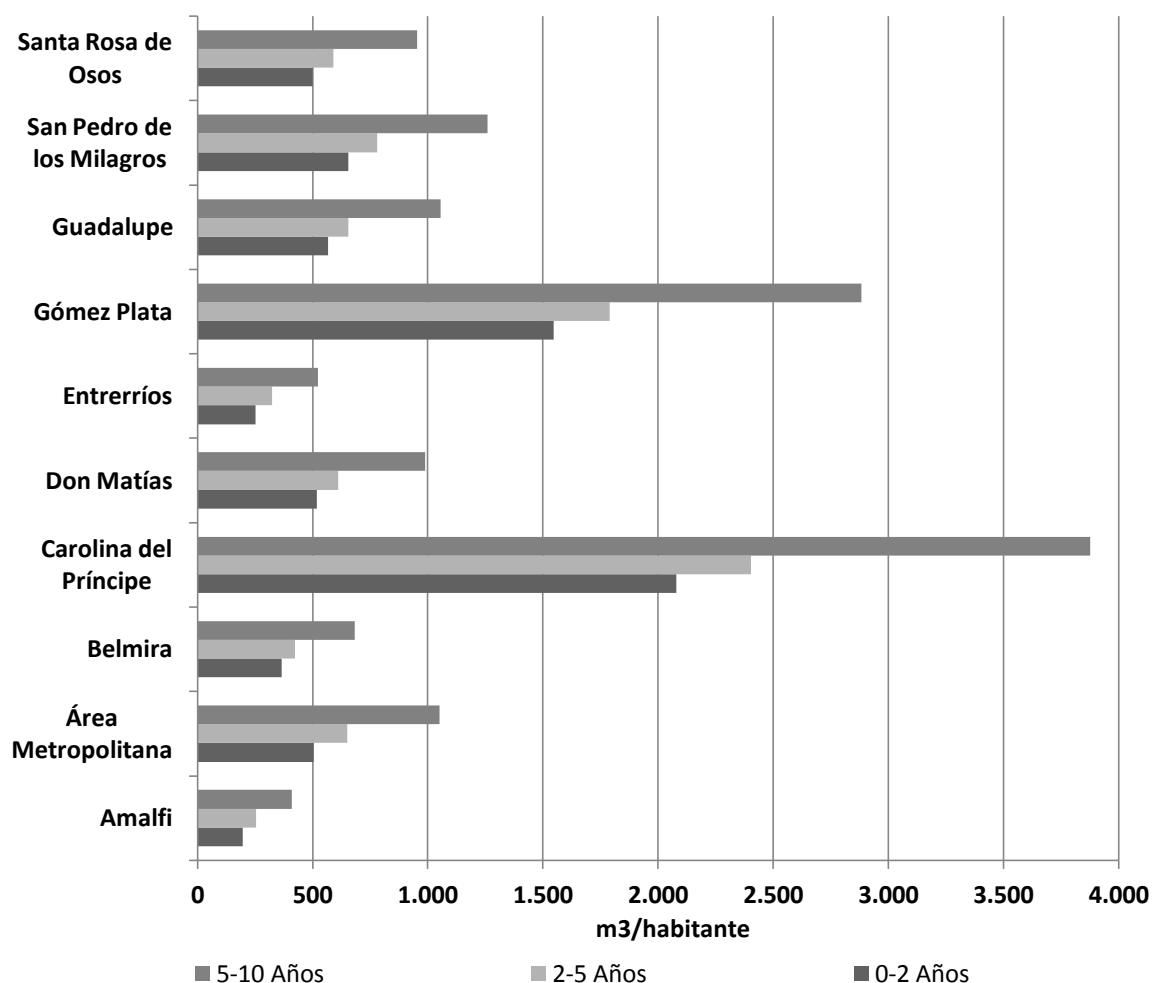


Figura 53. Huella hídrica gris per cápita por municipios calculada en base a los Objetivos de Calidad



Aunque la mayor huella hídrica gris total se presenta en el Área Metropolitana, la mayor huella hídrica gris per cápita se presenta en el municipio de Carolina del príncipe tanto al calcularse en base a normas internacionales, como al calcularse en base a los Objetivos de Calidad. Aunque Carolina del Príncipe no presenta una huella hídrica gris total alta, es el municipio con menor población al interior de la cuenca, lo que hace que la huella hídrica per cápita sea mayor.

La huella hídrica gris total en la cuenca corresponde a la máxima huella hídrica total por contaminante, pues se espera que al diluir la máxima carga contaminante hasta su concentración máxima permitida, se diluyan también los demás contaminantes presentes. No en todos los casos los contaminantes que presentan mayores contribuciones a la huella hídrica gris son los mismos.

En la Figura 54 se presenta la huella hídrica gris por contaminante en cada municipio, exceptuando el Área Metropolitana, calculada en base a normas internacionales. En la Figura 55 se presentan los resultados para el Área Metropolitana.

Figura 54. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a normas internacionales

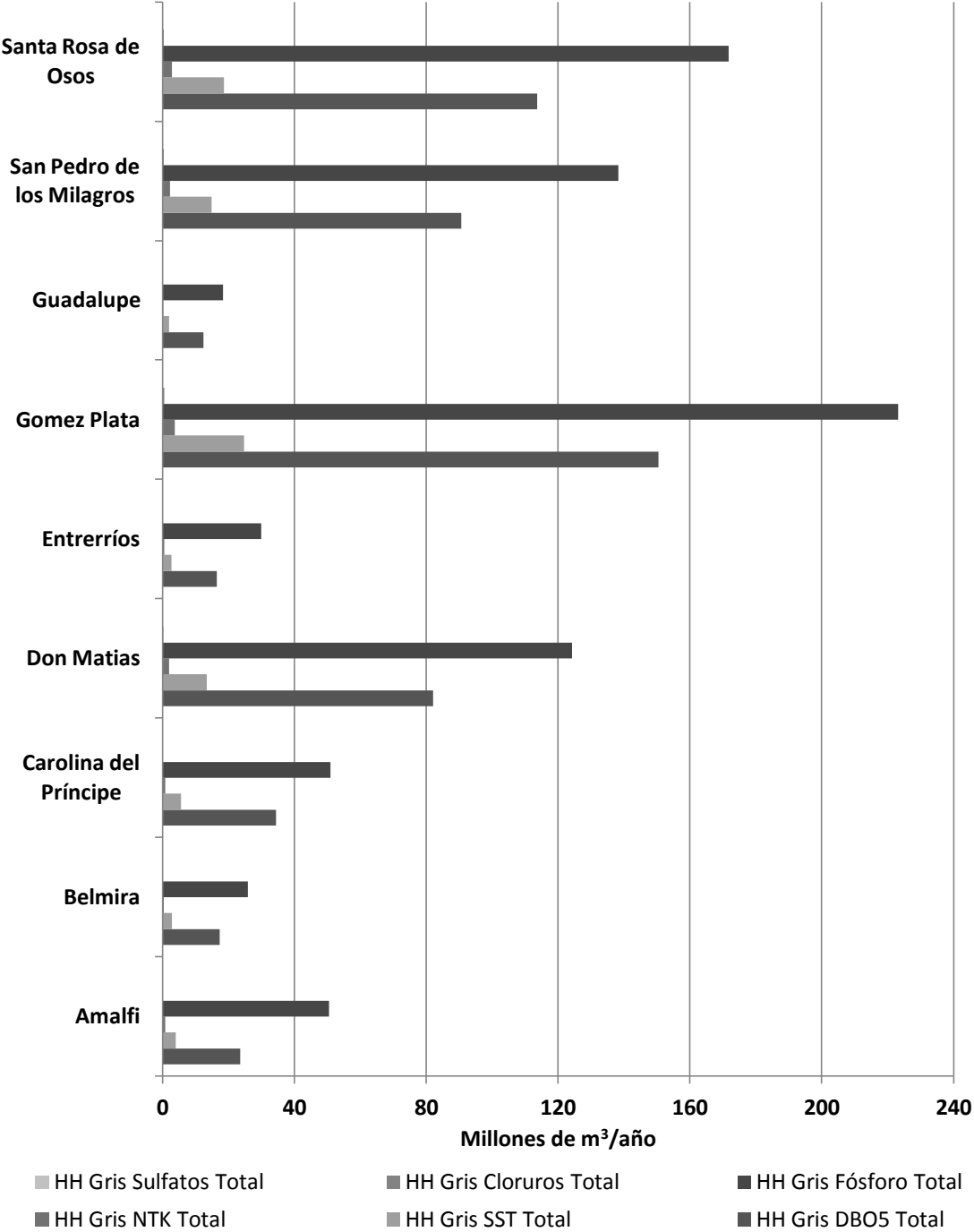
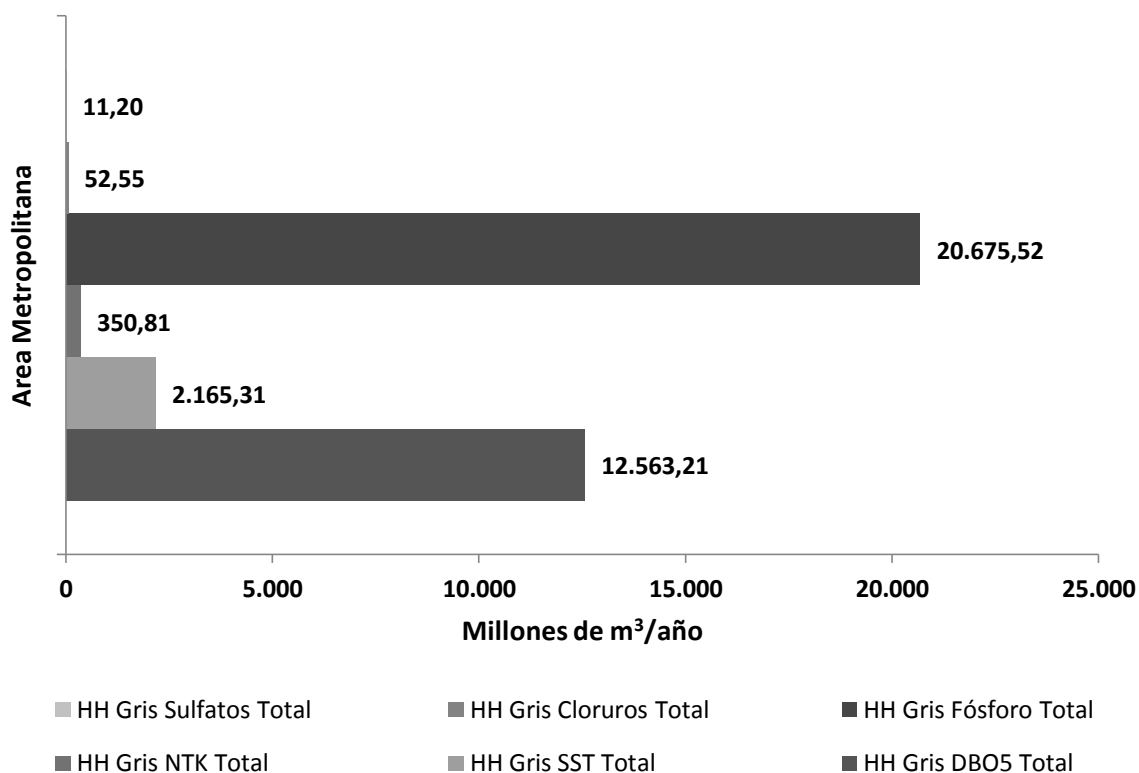


Figura 55. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a normas internacionales



En todos los municipios el contaminante predominante en su contribución a la huella hídrica gris, calculada en base a normas internacionales es el fósforo, seguido de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Es necesario considerar que de los diez municipios analizados, seis cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales, de los cuales cuatro construyeron la PTAR durante el periodo de evaluación. En la PTAR se remueven principalmente sólidos, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sin embargo la remoción de fósforo no supera el 20%, por lo que se espera que la huella hídrica gris sea mayor.

En las Figuras 56 - 58 se presenta la huella hídrica gris por contaminante en cada municipio, exceptuando el Área Metropolitana, calculada en base a los Objetivos de Calidad para periodos de 0 a 2 años, 2 a 5 años, y 5 a 10 años respectivamente. En las Figuras 59 - 61 se presentan los resultados para el Área Metropolitana en los periodos respectivos.

Figura 56. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años.

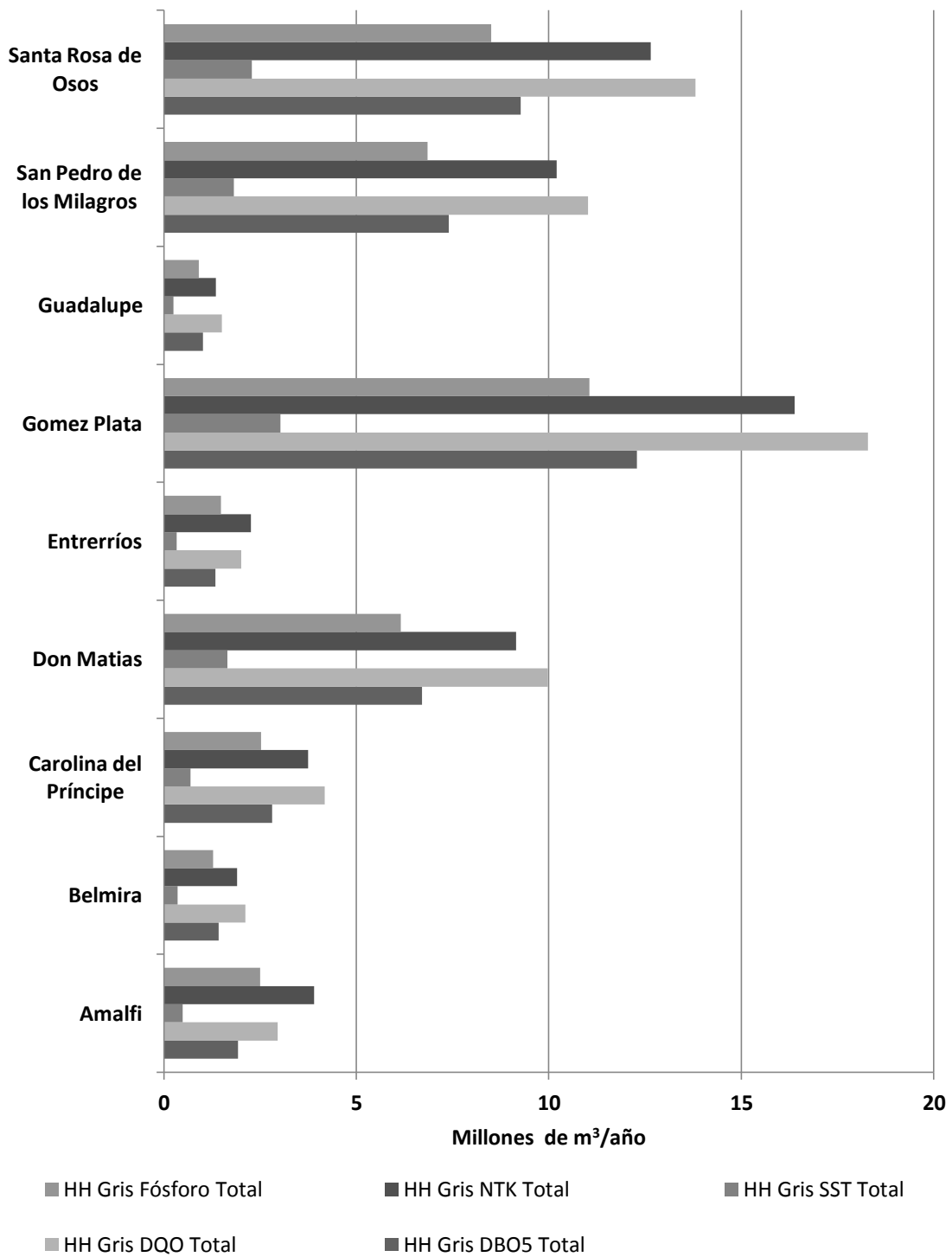


Figura 57. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 2 a 5 años.

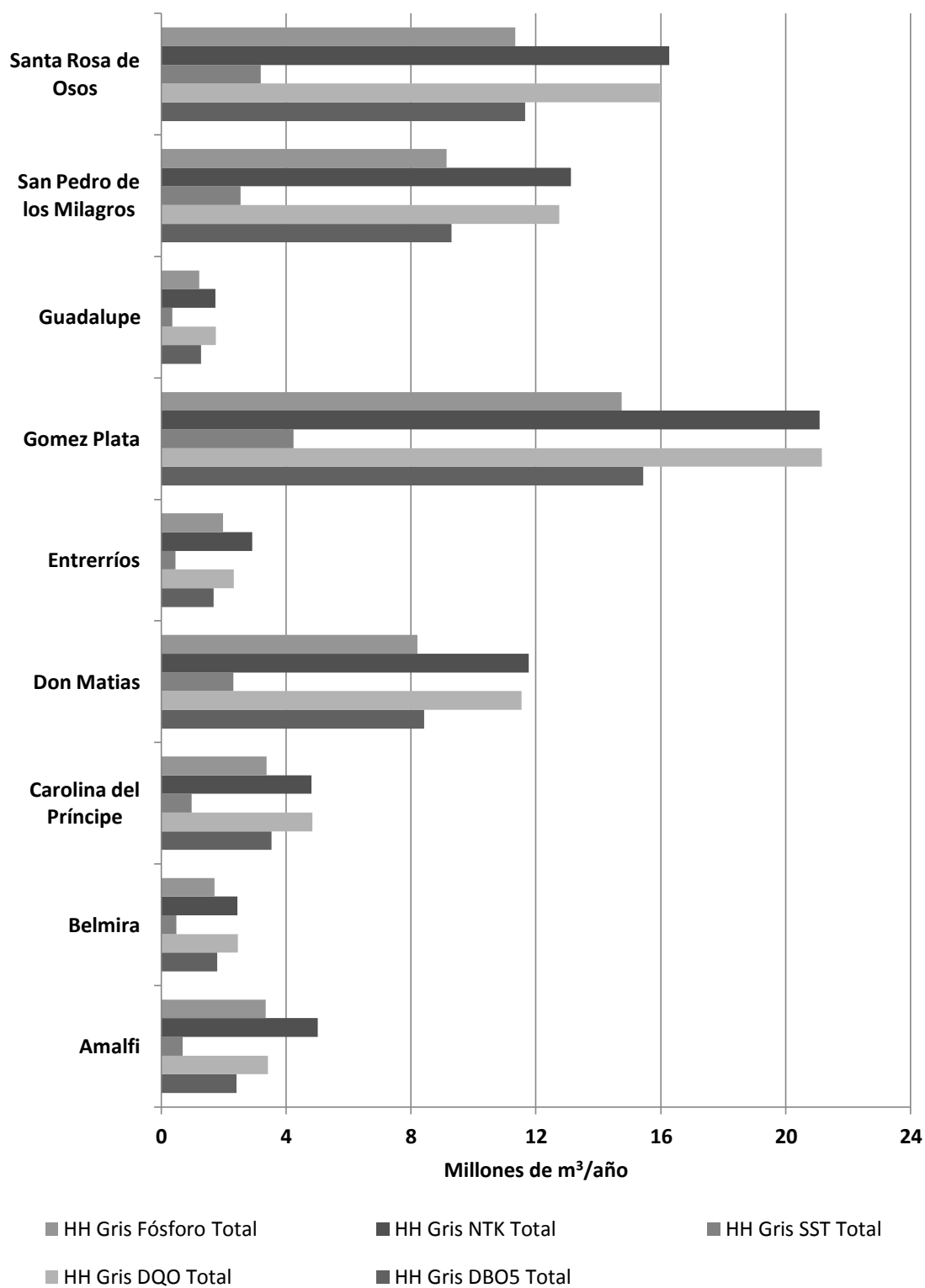
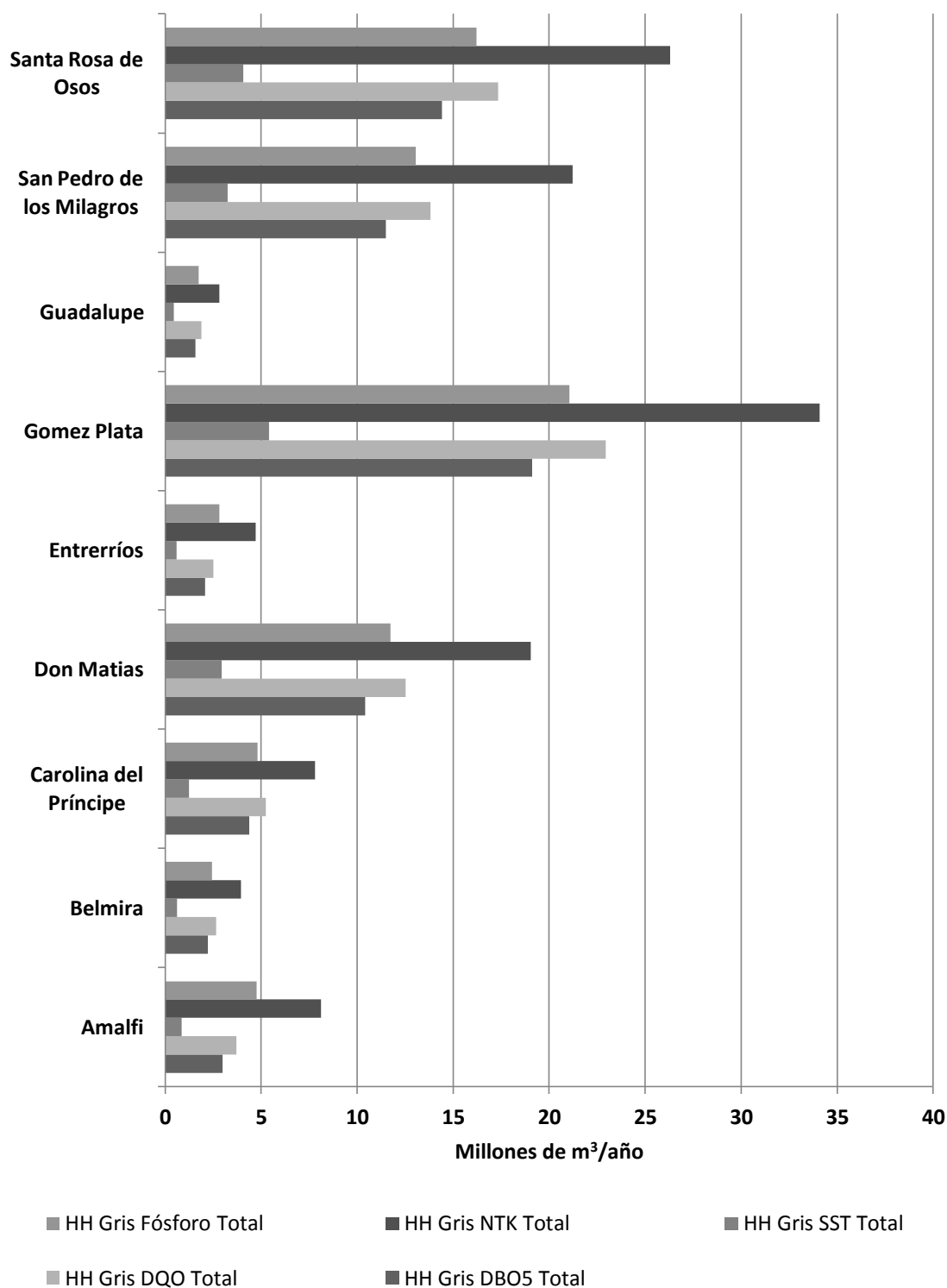


Figura 58. Huella hídrica gris por contaminante calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 5 a 10 años.



En el análisis por municipios se encontró que el contaminante predominante en la contribución a la huella hídrica gris, calculada en base a los Objetivos de Calidad, es el nitrógeno total (NTK); sin embargo la demanda química de oxígeno (DQO) en algunos municipios también predomina en la contribución a la huella hídrica gris, principalmente en el periodo de 0 a 2 años. En el periodo de 2 a 5 años, el nitrógeno y la demanda química de oxígeno presentan huellas hídricas grises muy similares.

Figura 59. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años

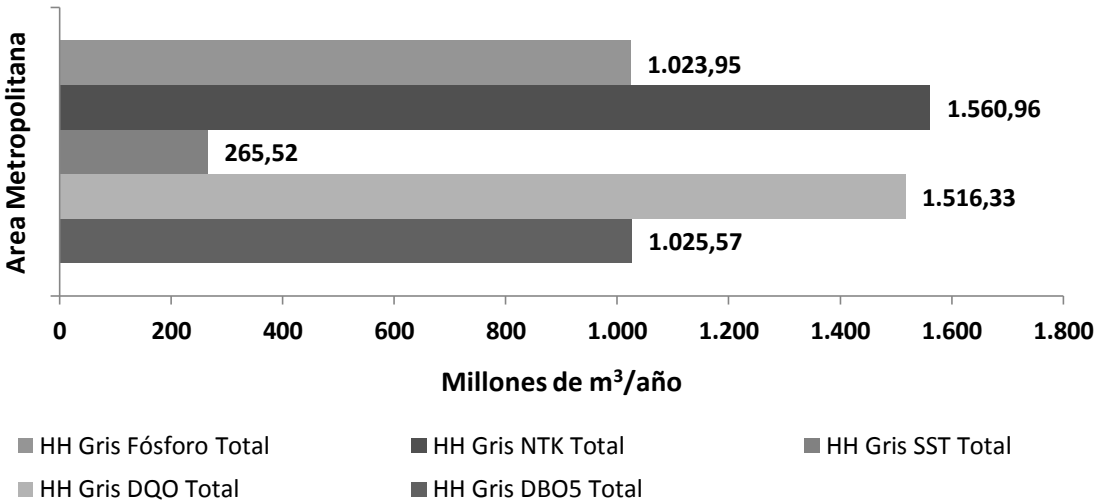


Figura 60. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 2 a 5 años

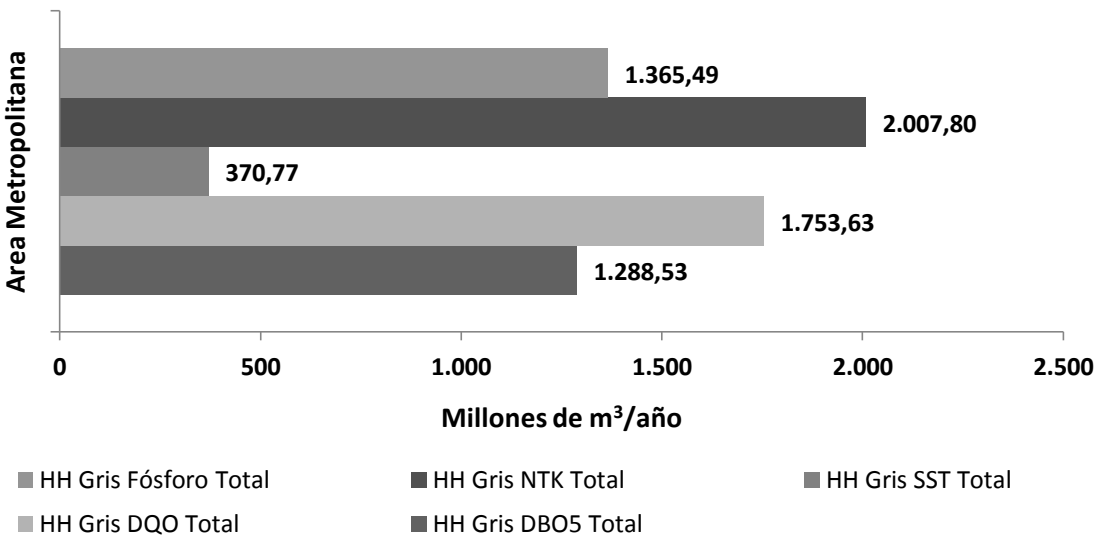
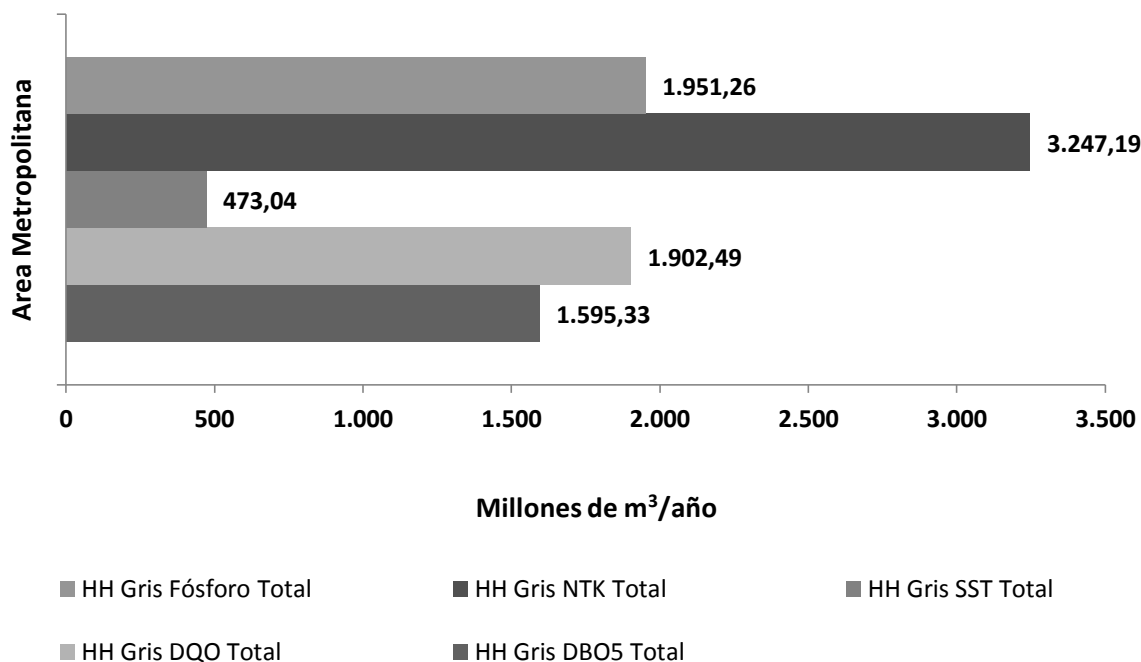


Figura 61. Huella hídrica gris por contaminante en el Área Metropolitana calculada en base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 5 a 10 años



En el área metropolitana el contaminante predominante en la contribución a la huella hídrica gris, calculada con base a los Objetivos de Calidad del río es el nitrógeno total, sin embargo la remoción de este contaminante en la PTAR es mínima.

El Área Metropolitana cuenta con PTAR, sin embargo solo se trata el 28% de las aguas residuales, y por su ubicación no alcanza a tratar las zonas con mayor población. Lo anterior junto con el hecho de que en el Área Metropolitana se encuentra el 96% de la población total de la cuenca hace que en esta zona se presente la mayor huella hídrica gris.

3.11.3. Huella Hídrica Total

Al sumar la huella hídrica azul, con la huella hídrica gris se obtiene la huella hídrica total de la cuenca. Como la huella hídrica gris varía dependiendo de las concentraciones máximas usadas en el cálculo, la huella hídrica total también varía de acuerdo a estas concentraciones máximas. En la Tabla 39 se presentan los valores de la huella hídrica total en la cuenca del río Porce.

Tabla 39. Huella hídrica total en la cuenca del río Porce en un año típico

Parámetro	HH Total	
	m ³ /año	m ³ /habitante
Normas Internacionales	21.373.395.886	6.667
Objetivos de Calidad 0-2 Años	1.487.106.266	464
Objetivos de Calidad 2-5 Años	1.951.566.657	609
Objetivos de Calidad 5-10 Años	3.239.823.049	1.011

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar con la huella hídrica de la cuenca del río Guadiana, se encuentra que en la cuenca del río Porce la huella hídrica es entre 11,5 y 164 veces mayor, sin embargo es necesario considerar que la población en la cuenca del río Guadiana es 2,2 veces menor, y que no se consideró la huella hídrica gris, que en el caso del sector doméstico es de gran importancia.

CONCLUSIONES

Se calculó la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce, desde el año 2005 hasta el año 2012, a partir de información suministrada por fuentes secundarias, principalmente por el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI), los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) y los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de los diferentes municipios en la cuenca.

Con toda la información recopilada se consolidó una base de datos, la cual se presenta en el ANEXO I.

La metodología desarrollada para el cálculo de la huella hídrica de la cuenca del río Porce en este trabajo puede ser utilizada para realizar el cálculo de la huella hídrica en otras cuencas de características similares.

El análisis se realizó por municipios y sólo se consideraron los que tienen su cabecera municipal al interior de la cuenca. El cálculo se realizó únicamente para el sector doméstico y no se consideró el aporte por agua verde, ya que este es despreciable con respecto a los aportes de agua azul y gris.

En el análisis de la huella hídrica azul se consideró el agua transvasada pues la transferencia de agua entre cuencas tiende a disminuir la huella hídrica azul en la cuenca receptora al aumentar la disponibilidad del recurso en dicha cuenca. No se consideró la huella hídrica azul de la PTAR pues no aporta de manera significativa a la huella hídrica azul total.

Se encontró que en la cuenca del río Porce el 50% del agua captada se importa desde el embalse La Fe. La huella hídrica azul total es de -135 millones de $m^3/año$; es negativa debido a que la cantidad de agua importada es mayor a la cantidad de agua captada en el interior de la cuenca, por lo que se puede compensar la huella hídrica azul de los usuarios que han consumido el agua de la cuenca.

En la cuenca se importan $51,63 m^3/habitante/año$ y se extraen de la cuenca $5,73 m^3$ por cada m^3 que se consume. La mayor huella hídrica azul positiva se presenta en el Área Metropolitana, siendo esta 28 millones de $m^3/año$, seguida por Don Matías, Gómez Plata y Santa Rosa de Osos, con huellas hídricas azules positivas entre 100.000 y $150.000 m^3/año$. Las menores se presentan en Guadalupe y Belmira, con huellas hídricas azules positivas entre 7.000 y $20.000 m^3/año$.

Los municipios que presentan un mayor consumo de agua per cápita son Carolina del príncipe y Gómez Plata, con huellas hídricas azules entre 10 y $16,5 m^3/habitante/año$. Don Matías y el Área Metropolitana presentan consumos per

cápita entra 5 y 9 m³/habitante/año. Los demás municipios tienen consumos per cápita menores a los 5 m³/habitante/año, presentándose el menor consumo en el municipio de Entreríos.

Los municipios que requieren una mayor extracción de agua de la cuenca por cada metro cúbico consumido son Carolina del Príncipe, Gómez Plata, Guadalupe y San Pedro de los Milagros, con huellas hídricas azules superiores a los 20 m³ extraídos/m³ consumido. Los demás municipios presentan huellas hídricas azules positivas entre 10 y 20 m³ extraídos/m³ consumido. El Área Metropolitana es un caso especial debido a la importación de agua, lo que hace que la cantidad de agua extraída de la cuenca disminuya, y por ende su huella hídrica azul.

El porcentaje de pérdidas es un factor importante en todo el proceso de distribución de agua. Lo ideal es que las pérdidas sean mínimas para garantizar una mayor eficiencia en dicho proceso. En la cuenca del río Porce se presenta un porcentaje de pérdidas del 29% en promedio. El municipio que presenta mayores pérdidas es Don Matías con un porcentaje de pérdidas del 51% y el que presenta menores pérdidas es Guadalupe, con un porcentaje de pérdidas del 7%.

Para el análisis de la huella hídrica gris se utilizaron diferentes valores de concentraciones máximas permitidas, basados en normas internacionales y en los Objetivos de Calidad del río Aburrá Medellín, aportando así una visión global y una visión local de la huella hídrica gris. Las normas internacionales fijan los valores de concentración requeridos para que el agua sea fácilmente apta para consumo, sin considerar los usos actuales del río como receptor de vertimientos principalmente, por lo tanto se requiere una mayor cantidad de agua para diluir las cargas contaminantes hasta dichas concentraciones. Los Objetivos de Calidad, a diferencia de las normas internacionales, tienen en cuenta los diferentes usos del recurso hídrico, como receptor de vertimientos y de residuos domésticos, por lo que la cantidad de agua requerida para disminuir las cargas contaminantes hasta los valores permitidos es menor.

La huella hídrica gris total de la cuenca es de 21.509 millones de m³/año, al calcularla con base a normas internacionales, 1.623 millones de m³/año, al calcularla con base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años, 2.087 millones de m³/año, para un periodo de 2 a 5 años y 3.375 millones de m³/año, para un periodo de 5 a 10 años.

En todos los casos analizados, la mayor huella hídrica gris total se presenta en el Área Metropolitana, seguida por el municipio de Gómez Plata; la menor se presenta en el municipio de Guadalupe.

La huella hídrica gris per cápita varía entre 506 y 6.709 m³/habitante/año, dependiendo de las concentraciones máximas usadas para el cálculo.

Aunque la mayor huella hídrica gris total se presenta en el Área Metropolitana, la mayor huella hídrica gris per cápita se presenta en el municipio de Carolina del príncipe. Este municipio aunque no presenta una huella hídrica gris total alta, es el municipio con menor población al interior de la cuenca, lo que hace que la huella hídrica gris per cápita sea mayor.

En el análisis por municipios se encontró que el contaminante predominante en la contribución a la huella hídrica gris, calculada en base a normas internacionales, es el fósforo, seguido de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), y el contaminante predominante en la contribución a la huella hídrica gris, calculada en base a los Objetivos de Calidad, es el nitrógeno total (NTK); sin embargo la demanda química de oxígeno (DQO) en algunos municipios también predomina en la contribución a la huella hídrica gris, principalmente en el periodo de 0 a 2 años.

Es necesario considerar que de los diez municipios analizados, seis cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales, de los cuales cuatro construyeron la PTAR durante el periodo de evaluación. En la PTAR se remueven principalmente sólidos, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sin embargo la remoción de fósforo no supera el 20%, y la de nitrógeno es despreciable, por lo que se espera que las huellas hídricas grises de estos contaminantes sean mayores.

El Área Metropolitana cuenta con PTAR, sin embargo solo se trata el 28% de las aguas residuales, y por su ubicación no alcanza a tratar las zonas con mayor población. Lo anterior junto con el hecho de que en el Área Metropolitana se encuentra el 96% de la población total de la cuenca hace que en esta zona se presente la mayor huella hídrica gris.

La huella hídrica gris total de la cuenca es de 21.373 millones de $m^3/año$, al calcular la huella hídrica gris con base a normas internacionales, 1.487 millones de $m^3/año$, al calcularla con base a los Objetivos de Calidad para un periodo de 0 a 2 años, 1.952 millones de $m^3/año$, para un periodo de 2 a 5 años y 3.240 millones de $m^3/año$, para un periodo de 5 a 10 años.

RECOMENDACIONES

En este trabajo el cálculo de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce se realiza a partir de información secundaria suministrada principalmente por el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI), los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) y los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de los diferentes municipios en la cuenca; sin embargo lo ideal sería que la información fuera suministrada directamente por las empresas de servicios públicos responsables de los sistemas de acueducto y alcantarillado de cada municipio.

Como no se encontró información sobre la composición de los vertimientos, se asumieron concentraciones típicas de los contaminantes en aguas residuales domésticas. Con estos valores se obtienen valores de huellas hídricas grises aproximados a los reales, sin embargo se realizaría un cálculo mucho más preciso si se utilizaran las concentraciones reales de los contaminantes en los vertimientos.

En este trabajo se presenta una aproximación de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce, pues se trabaja con algunos valores supuestos en el caso de que sean desconocidos. En la medida en que se determinen todas las variables involucradas en el cálculo con información propia de la cuenca, se podrá obtener un valor de huella hídrica más aproximado al valor real.

BIBLIOGRAFÍA

1. Montaña, Joaquín G. Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua. Medellín, Colombia : Editorial Clave, Diciembre de 2002. ISBN 97000-5-5.
2. Hoekstra, Arjen Y. The Global Dimension of Water Governance: Why the River Basin Approach is No Longer Sufficient and Why Cooperative Action at Global Level is Needed. En: Water. 2011, Vol. 3, p. 21-46. ISSN 2073-4441.
3. World Water Assessment Programme. Agua Para Todos, Agua Para la Vida. En: Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. París : Ediciones UNESCO, 2003.
4. Pedraza, Dafne C. Recursos Hídricos - Colombia 2010. Bogotá D.C : 2010.
5. García, Martha. et. al. Agua Superficial: Caracterización y Análisis de la Oferta. En: Estudio Nacional del Agua. 2010, p. 54 - 110.
6. Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Decreto 1729 de 2002 (6, Agosto, 2002). Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5º de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2002. No. 44893.
7. Montalvan E., A. et. al. Huella Hídrica Gris en Industrias Alimenticias Camagüeyanas. En: Revista Cubana de Química. 2010, Vol. 22, No. 2, p. 44-50.
8. World Water Assessment Programme. Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadania River Basin. En: The United Nations World Water Assessment Programme. París : Ediciones UNESCO, 2009. ISBN 987-92-3-104117-4.
9. World Water Assessment Programme. Water in a Changing World. En: The United Nations World Water Development Report 3. Paris: Ediciones UNESCO, 2009. ISBN 978-9-23104-095-5.

10. Hoekstra, Arjen Y. et al. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Londres : Earthscan, 2011. 978-1-84971-279-8.
11. Berger, Markus; Finkbeiner, Matthias. Water Footprint: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? En: Sustainability. 2010, Vol. 2, p. 919-944. ISSN 2071-1050.
12. Jeswani, Harish K.; Azapagic, Adisa. Water Footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. En: Journal of cleaner production. 2011, Vol. 19, p. 1288-1299.
13. Llamas M., Ramón M. Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. En: Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Natural (España). 2005, No. 2, Vol. 99, p. 369-389.
14. Chapagain, A. K.; Orr, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. En: Journal of Environmental Management. 2009, Vol. 90 p. 1219-1228.
15. Chapagain, A. K. et. al. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. En: Ecological Economics. 2006, Vol. 60, p. 186-203.
16. Ridoutt, Bradley G.; Pfister, Stephan. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. En: Global Environmental Change. 2010, Vol. 20, p. 113-120.
17. Liu, Cheng; et. al. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. En: Ecological Indicators. 2012, Vol. 18, p. 42-49.
18. Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. En: Ecological Economics. 2007, Vol. 64, p. 109-118.

19. Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. En: *Ecological Economics*, 2011, Vol. 70, p. 749-758.
20. Ridoutt, B. G., et. al. The water footprint of food waste: case study of fresh mango in Australia. En: *Journal of Cleaner Production*. 2010, Vol. 18, p. 1714-1721.
21. Ridoutt, B.G., et. al. Water footprinting at the product brand level: Case study and future challenges. En: *Journal of Cleaner Production*. 2009, Vol. 17, p. 1228-1235.
22. Aldaya, M. M.; Llamas, M. R. Water Footprint Analysis for The Guadiana River Basin. En: *Value of Water: Research Report Series*. No. 35. Delf: Ediciones Unesco-IHE, 2008.
23. **Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA)**. *Resumen de Resultados: Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce*. Medellín : s.n., Mayo 2013.
24. **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, República de Colombia**. Sistema Único de Información de Servicios Públicos SUI. [En línea] [Citado el: 20 de Agosto de 2012.] <http://www.sui.gov.co/SUIAuth/logon.jsp>.
25. **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, República de Colombia**. Prestadores menores de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. *Sistema Único de Información*. s.l. : Nuevas Ediciones, 2005.
26. **CORANTIOQUIA**. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Amalfi*. 2002.
27. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Belmira*. 2007.
28. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Don Matías*. 2003.
29. —. *Plan Maesro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Entreríos*. 2003.

30. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Gómez Plata.* 2003.
31. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Guadalupe.* 2005.
32. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de Santa Rosa de Osos.* 2001.
33. —. *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA) Municipio de San Pedro de los Milagros.* 2007.
34. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Amalfi.* 2008.
35. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Carolina del Príncipe.* 2005.
36. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Santa Rosa de Osos.* 2008.
37. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Belmira.* 2007.
38. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Entreríos.* 2010.
39. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Gomez Plata.* 2007.
40. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de Guadalupe.* 2006.
41. —. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) Municipio de San Pedro de los Milagros.* 2008.
42. **RedRío.** *Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana, Fase III.* Medellín : s.n.
43. **RedRío Aburrá - Medellín.** *Resumen Ejecutivo Objetivos de Calidad para el Río Aburrá - Medellín.* Medellín : s.n., 2011.
44. **Metcalf, Leonard y Eddy, Harrison P.** *Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales.* Labor : Editorial S.A, 1977.
45. **Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y*

Saneamiento Básico, RAS - 2000; Sección II, Título E: Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá : s.n., 2000.

46. **DANE.** *Proyecciones de Poblaciones Municipales por Área 2005-2020.* 2005.
47. **CORANTIOQUIA.** *Plan de Gestión Ambiental Regional 2007-2019.* Medellín : s.n., 2007.
48. **Concejo Municipal de Amalfi, Antioquia.** *Plan de Desarrollo Municipal 2010-2011.* 2010.
49. **Empresas Públicas de Medellín E.S.P.** *Sistema de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* 2000.
50. **Arango, José Adrián Ríos.** *Ingeniero Mecánico.* Medellín, 13 de Agosto de 2013.
51. **Empresas Públicas de Medellín E.S.P.** Plantas de agua EPM. *Planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando.* [En línea] [Citado el: 4 de Junio de 2013.] <http://www.epm.com.co>.
52. **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, República de Colombia.** *Informe Visita Empresas Publicas De Belmira E.S.P.* Bogotá : s.n., 2013.
53. **Colombia Compra Eficiente.** Sistema Electrónico de Contratación Pública. [En línea] [Citado el: 18 de Julio de 2013.] [http:// www.contratos.gov.co/consultas](http://www.contratos.gov.co/consultas).
54. **Administración San Pedro de los Milagros.** *Informe de Gestión 2008 - 2010.* 2010.
55. **Administración Municipal Santa Rosa de Osos 2008-2010.** *Informe de Gestión.* 2010.
56. *The Global Dimension of Water Governance: Why the River Basin Approach is No Longer Sufficient and Why Cooperative Action at Global Level is Needed.* **Hoekstra, Arjen Y.** 2011, Vol. 3. ISSN 2073-4441.

ANEXOS

ANEXO I. Base de datos con la información recolectada para cada municipio en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI)

Este anexo se encuentra en formato digital.

ANEXO II. Cálculos y resultados de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce.

Este anexo se encuentra en formato digital.

ANEXO III. INSTRUCTIVO - Metodología para el cálculo de la huella hídrica del sector doméstico en una cuenca hidrográfica

Este anexo se encuentra en formato digital.