

## **Anexo 3. Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la ciudad de Cali, Colombia**

---

### **Contenido**

Anexo 3. Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la ciudad de Cali, Colombia.....	1
1. Introducción.....	2
2. Balance hídrico de la ciudad de Cali .....	2
3. Sostenibilidad Ambiental.....	4
3.1 Sostenibilidad de la HH Azul.....	5
3.2 Sostenibilidad de la HH Gris.....	6
4. Sostenibilidad social .....	8
5. Sostenibilidad económica.....	9
6. Limitaciones del Análisis.....	10
7. Bibliografía.....	11

### **Tabla de Figuras**

Figura 1. Medición de la sostenibilidad de una cuenca en cuatro pasos.....	2
Figura 2. Balance hídrico de la ciudad de Cali .....	3
Figura 3. Oferta de agua, consumo efectivo y HH Azul.....	5
Figura 4. Distribución de la HH Azul total desagregada por sector. ....	5
Figura 5. Relación de disponibilidad (oferta) de agua natural y HH Azul total calculada (en m <sup>3</sup> ). .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 6. Distribución de la HH Gris total desagregada por sector. ....	7
Figura 7. Relación de disponibilidad (oferta) de agua natural y HH Gris total calculada (en m <sup>3</sup> )..	7
Figura 8. Análisis del consumo per cápita de agua en el tiempo (litros/habitante/día).....	8

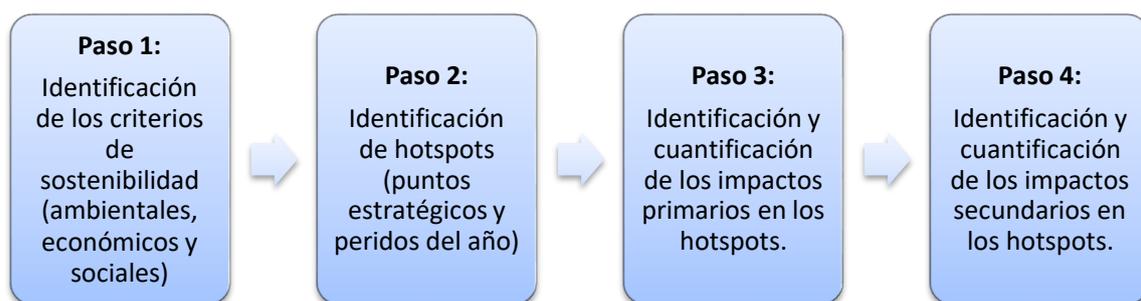
## 1. Introducción

El incremento de la presión global por el crecimiento poblacional, el cambio de hábitos y consumo de los habitantes por sobre todo de sectores urbanos en las ciudades, y el cambio climático, han ocasionado que los sistemas hídricos estén sometidos a mayor estrés que en muchos casos los han conducido a la insostenibilidad. El análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica<sup>1</sup> emergió con el propósito de asistir como instrumento en este ámbito.

Para interpretar mejor el resultado de HH de la ciudad, el análisis de sostenibilidad muestra la comparación de la HH y los recursos de agua dulce disponibles y la capacidad de la cuenca de asimilar el impacto (también expresados en m<sup>3</sup>/año).

La identificación de criterios de sostenibilidad y su cuantificación, es el primer paso para medir la sostenibilidad de la HH en una cuenca hídrica. El segundo paso es la identificación de "hotspots"<sup>2</sup> dentro de la cuenca, por periodos en un año y en puntos estratégicos en los que se observa que la HH es insostenible. En el tercer y cuarto paso se cuantifican los impactos primarios y secundarios de los hotspots.

Figura 1. Medición de la sostenibilidad de una cuenca en cuatro pasos.



Fuente:(Water Footprint Network, 2011)

Después de haber identificado hotspots, se pueden estudiar las implicaciones ambientales, sociales y económicas con mayor detalle. Se debe distinguir entre la identificación de impactos "primarios" y "secundarios".

Pero antes de iniciar la evaluación, es necesario realizar el balance hídrico de la ciudad y determinar el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado, que para fines de este estudio será de un año.

## 2. Balance hídrico de la ciudad de Cali

El siguiente esquema presenta el balance hídrico de la ciudad de Cali, elaborado a partir de información obtenida por la Empresa Municipal de Cali (EMCALI) encargada del control y

---

<sup>1</sup>La Huella Hídrica (HH) es un indicador de apropiación del agua dulce (en m<sup>3</sup>/año).

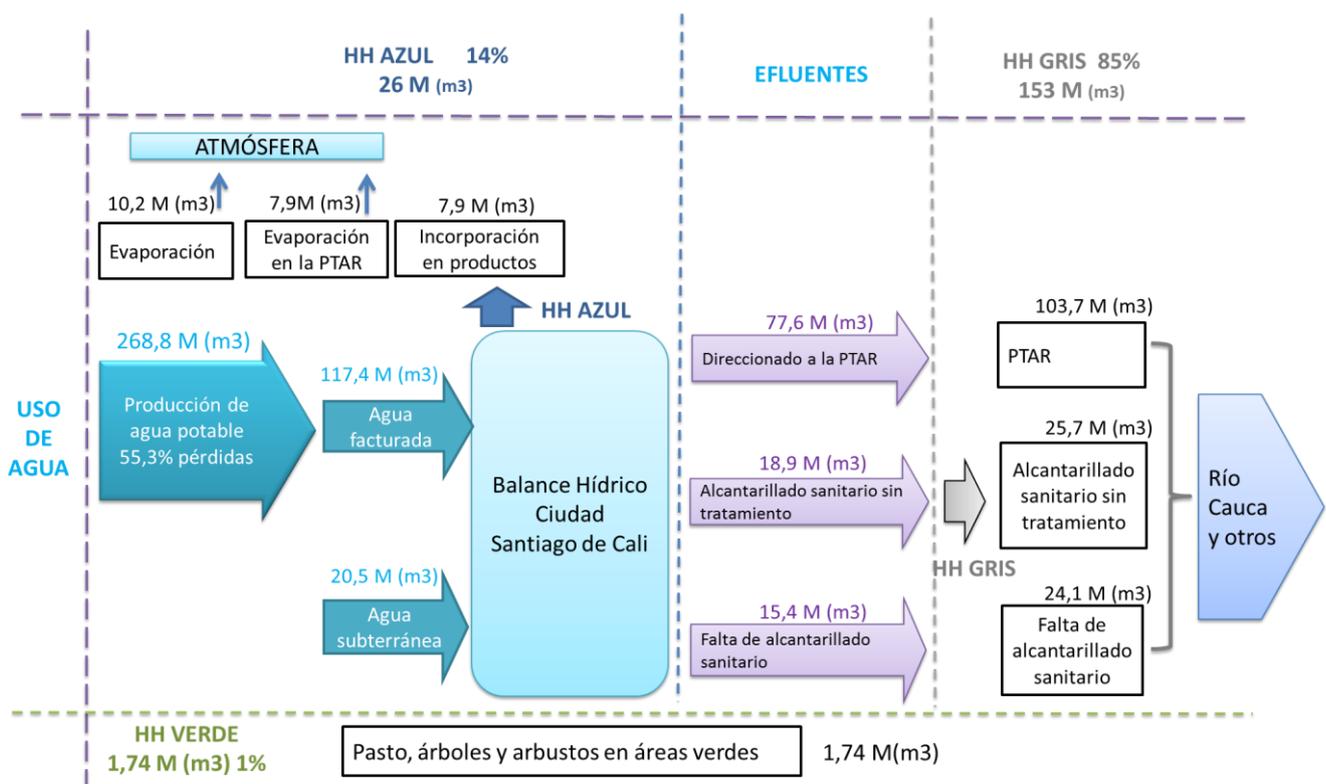
<sup>2</sup>Un "hotspot" es un periodo específico del año en un punto clave en el que la HH es insostenible por razones referidas a la calidad de agua, ineficiencia técnica o económica; por ello ocurren problemas de escasez o contaminación. En los hotspots se busca la reducción del impacto.

regulación de servicios de distribución de agua potable, alcantarillado sanitario y tratamiento de efluentes residuales de la ciudad.

Los datos que se toman en cuenta para este balance son el volumen de agua desde la producción, contabilizando por tanto las pérdidas en el sistema antes de la distribución, el volumen de agua efectivamente consumida en los distintos sectores, el volumen de agua descargada como efluente a los ríos de la ciudad y el tratamiento al agua residual<sup>3</sup>.

Para este análisis se consideró que el 86% de la población cuenta con servicio de acceso a agua potable, el 86% cuenta con el servicio de alcantarillado sanitario y el 69,3% de los efluentes direccionados por el alcantarillado sanitario es tratado en una Planta de Tratamiento<sup>4</sup>.

**Figura 2. Balance hídrico de la ciudad de Cali**



Fuente: Elaboración Propia

El volumen de agua total utilizada durante un año respecto al número de habitantes, industrias y comercios que operan en la ciudad, marcan los resultados de la Huella Hídrica (HH), tomando en cuenta las pérdidas que sufre el sistema (incorporación en productos, evaporación y flujo de retorno perdido) que determina la medición de la HH Azul, y el tipo de efluente generado que determina la medición de la HH Gris<sup>5</sup>.

<sup>3</sup>Cabe remarcar que en la ciudad existe una Planta de Tratamiento que opera en los límites urbanos de la ciudad “Cañaveralejo”.

<sup>4</sup>(EMCALI, Empresa Municipal de Cali, 2015)

<sup>5</sup> El Anexo metodológico del informe de medición de HH de la ciudad de Cali, contiene a detalle las ecuaciones para el cálculo de la HH Azul, HH Gris y HH Verde.

La planta de tratamiento de agua potable de EMCALI, capta agua de los ríos Cali, Cauca, Puerto Mallarino y el río Meléndez, de los cuales se distribuyen 268,8 millones de m<sup>3</sup>, pero se utilizan efectivamente 117,4 millones de m<sup>3</sup> debido a que existe un 53% de pérdidas que podrían ser contabilizadas como parte de la HH Azul, pero como no se ha determinado el porcentaje que efectivamente se pierde en los límites geográficos establecidos para este estudio (área urbana de la ciudad), se muestran de forma separada.

Del total de HH directa contabilizada para la ciudad de Cali, el 14% corresponde a la HH Azul, un valor relativamente alto en comparación con otras ciudades de la región evaluadas en el Proyecto Huella de Ciudades, debido al menor porcentaje de HH Gris que se genera. Por otra parte cabe remarcar que de los 117,4 millones de m<sup>3</sup> de agua que se utilizan efectivamente en la ciudad el 19% es agua que se pierde de la cuenca, dejando de estar disponible por un largo periodo de tiempo<sup>6</sup>.

La HH Gris de la ciudad de Cali se muestra de forma separada según las fuentes de donde proviene; 24,1 millones de m<sup>3</sup> corresponden a la HH Gris generada por la falta de alcantarillado sanitario, es decir, por la contaminación ocasionada por el uso de fosas sépticas, letrinas, o conexiones clandestinas al río (16% de la HH Gris); 25,7 millones de m<sup>3</sup> corresponden a la HH Gris que se genera por el agua residual direccionada por el alcantarillado sanitario que no es tratada en la Planta de Tratamiento (17% de la HH Gris); y finalmente 103,7 millones de m<sup>3</sup> corresponden al agua residual tratada en la Planta pero que aún después del tratamiento incumple con los parámetros máximo permitidos establecidos en la normativa local (68% de la HH Gris).

El 1% corresponde a la HH verde, medida en base a las 361 hectáreas de áreas verdes, que existen en la ciudad y está relacionado con el agua que pierde la cuenca por incorporación y evapotranspiración de las plantas (pasto, árboles y arbusto).

Bajo este contexto, se analizó la sostenibilidad de las Huellas Hídricas **Azul** y **Gris** en función a la disponibilidad de agua natural -de la cuenca hidrológica- y regulada en base a la capacidad operativa de la entidad prestadora de servicio de agua potable y alcantarillado sanitario.

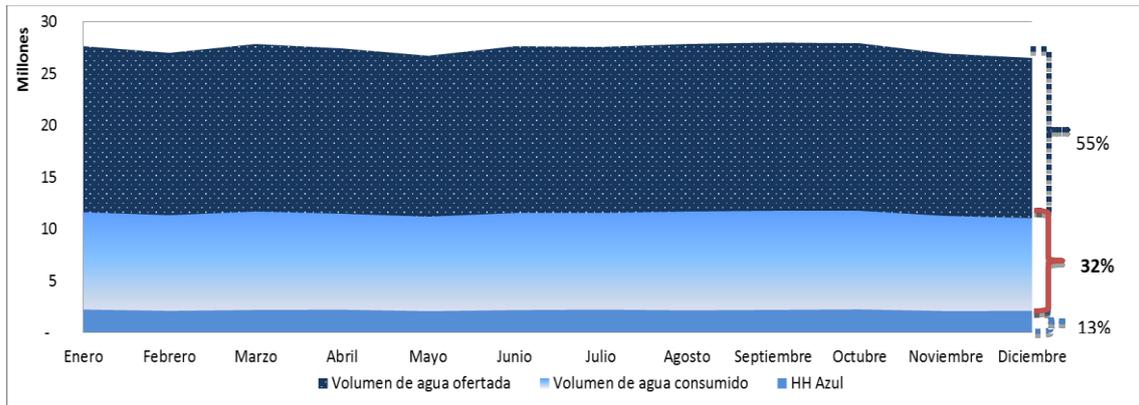
### 3. Sostenibilidad Ambiental

El primer análisis de sostenibilidad que se presenta, corresponde al volumen de agua que se pierde por defectos en los sistemas de distribución, que en el caso de Cali es un porcentaje alto respecto a otras ciudades de la región evaluadas en el marco del Proyecto. El siguiente gráfico presenta el volumen de agua ofertada respecto a lo efectivamente utilizado y el volumen de agua que se pierde como HH Azul.

---

<sup>6</sup>El agua que se evapora y se infiltra en la tierra, así como las reservas de agua subterránea pueden permanecer bajo tierra entre 2 semanas y 10.000 años, por ello, si el agua se infiltra, deja de estar disponible para su uso y por tanto se contabiliza como HH Azul. (Cherry, 1979)

**Figura 3. Oferta de agua, consumo efectivo y HH Azul.**



Fuente: Elaboración Propia

En el anterior gráfico se puede apreciar que el 58% de agua que se produce en la ciudad no retorna a la cuenca, es decir deja de estar disponible para su uso, tanto por las pérdidas de agua en el sistema de distribución (55%) como por la HH Azul (13%). Solo el 32% retorna a la cuenca pero como agua contaminada.

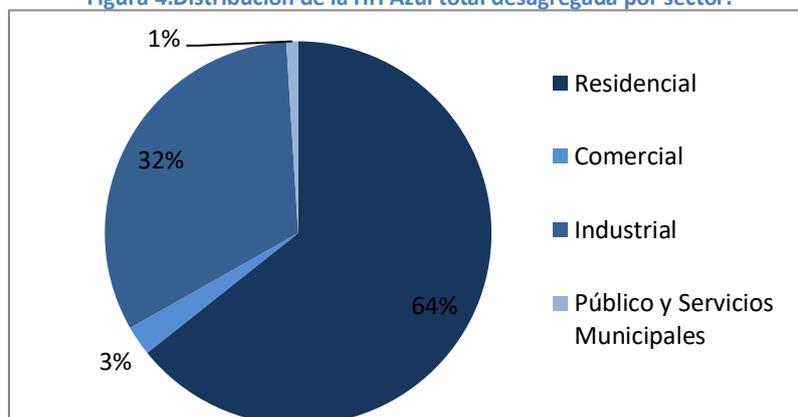
### 3.1 Sostenibilidad de la HH Azul

Durante el análisis de sostenibilidad de la HH Azul total se compararon los resultados obtenidos durante la cuantificación de la HH Azul y las características ambientales del entorno, asociadas a la generación y aprovisionamiento de agua en base a un criterio oferta/demanda.

Para este cometido se comparó la HH Azul con la oferta de agua natural disponible, es decir, de la fuente de agua (cuenca hidrológica) sin alteraciones, transvases o regulaciones de extracción; y finalmente, se comparó la HH Azul con oferta regulada disponible, es decir de la oferta de agua regulada por EMCALI a través de sus sistemas de aprovisionamiento.

En la Figura 4 se presenta gráficamente la composición de la HH Azul directa de la ciudad de Cali desagregada en los diferentes sectores considerados en la evaluación, destacándose la HH que es generada en sector residencial (64%), seguida por el sector industrial (32%), el sector comercial (3%), y finalmente y el público y servicios municipales (1%)

**Figura 4. Distribución de la HH Azul total desagregada por sector.**

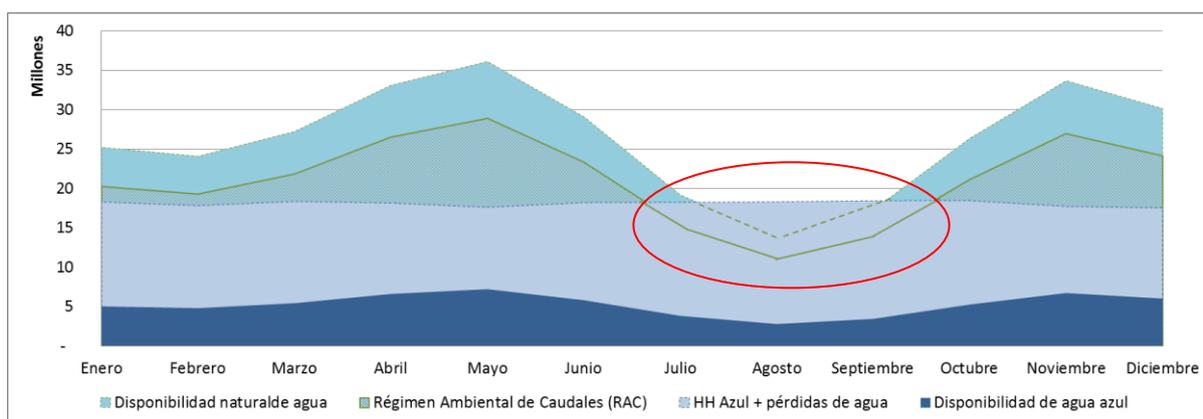


Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5 se analiza la oferta natural de agua –cuantificada a través de la disposición natural de los ríos<sup>7</sup>de la cuenca hidrológica que dota de agua a los sistemas reguladores de EMCALI, y la HH Azul generada por su uso en los distintos sectores de la ciudad.

Para este cálculo se utiliza el volumen de agua de oferta real que considera el requisito ambiental del caudal de agua (correspondiente al 80%<sup>8</sup> de la oferta natural) que se refiere al volumen de agua que debe ser mantenido dentro de la cuenca de tal manera que garantice la sostenibilidad de los ecosistemas existentes.

**Figura 5. Relación de disponibilidad (oferta) de agua natural y HH Azul total calculada (en m3).**



**Fuente:** Elaboración Propia

La disponibilidad de agua natural ofertada por todos los ríos de la ciudad<sup>9</sup> corresponde a un volumen total de 295 millones de m<sup>3</sup> al año, pero el 80% (236 millones de m<sup>3</sup>) son requeridos por la cuenca para salvaguardar su integridad ecosistémica, dinámica mejor conocida como Régimen Ambiental de Caudales (RAC). Por tanto hasta 59 millones de m<sup>3</sup> podrían perderse del volumen total de la cuenca, medida como HH Azul, para no causar un desequilibrio ambiental.

En el gráfico se observa que en el mes de agosto existe un punto crítico pues la HH Azul se sobrepone al RAC, y el resto del año la brecha es muy corta y por tanto el ecosistema es muy vulnerable a sufrir impacto en caso de que la HH Azul de la ciudad aumente.

### 3.2 Sostenibilidad de la HH Gris

Para el análisis de sostenibilidad ambiental de la HH Gris total<sup>10</sup>, se compararon los resultados obtenidos y las características físicas y ambientales del entorno, asociadas a la capacidad de asimilación de las cargas orgánicas presentes en los efluentes domésticos, comerciales e industriales.

<sup>7</sup> Los principales ríos que proveen de agua a la ciudad y que fueron considerados para este análisis son: el Río Cali, río Cauca y el río Meléndez.

<sup>8</sup> Estimación realizada por la Water Footprint Network en el Informe de Cuantificación de la Huella Hídrica de la Bahía de Guandú. 2012.

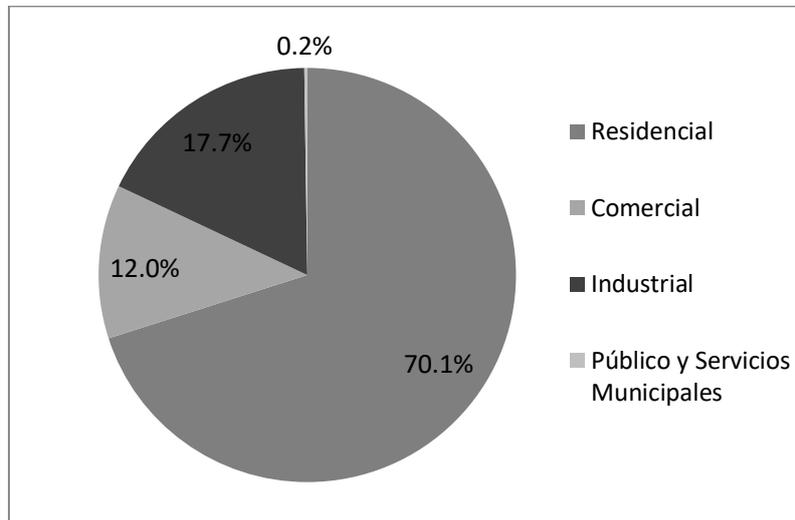
<sup>9</sup> Se consideró para el análisis de sostenibilidad el aporte de los ríos Cauca, Cali y Meléndez.

<sup>10</sup> La HH Gris se mide en función a las calidades de agua en cuerpos de agua naturales, en el afluente (Proyecto Huella de Ciudades), en el efluente (estudios de monitoreo en ríos de la ciudad) y los valores máximo permitidos por norma en la ciudad. (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015)

**ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD**  
CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA A NIVEL DE CIUDAD  
**CALI, COLOMBIA**

En la Figura 6 se presenta gráficamente la composición de la HH Gris directa, desagregada en los diferentes sectores considerados en la evaluación, destacándose la HH generada en el sector residencial (70,1%), seguida del industria (17,7%), el sector comercial (12%), y finalmente el sector público y servicios municipales (0,2%).

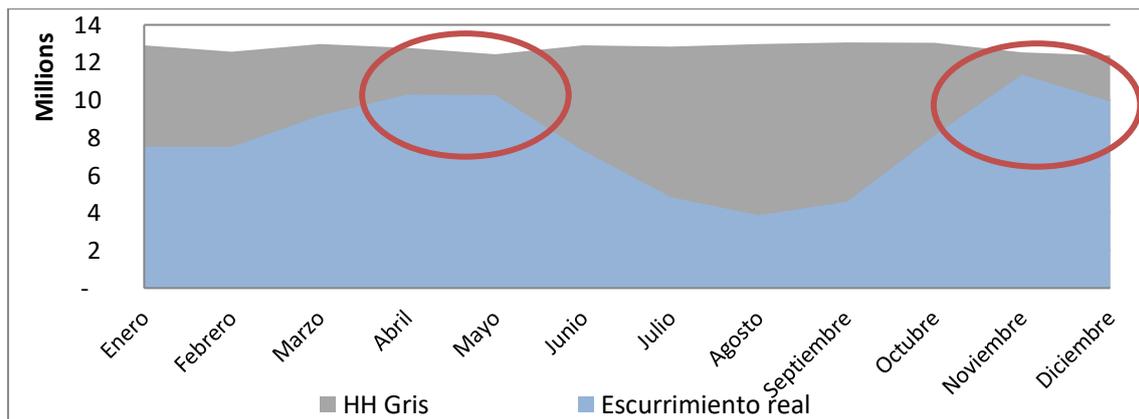
Figura 6. Distribución de la HH Gris total desagregada por sector.



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 7 se presenta gráficamente el volumen de agua disponible de escurrimiento superficial de agua real del río Cauca (principal cuerpo de agua dulce receptor del agua residual en Cali) y la HH Gris mensual generada anualmente en los sectores que fueron contemplados en la presente evaluación.

Figura 7. Relación de disponibilidad (oferta) de agua natural y la HH Gris de la ciudad (en m<sup>3</sup>).



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico muestra que la HH Gris es por mucho mayor al escurrimiento real, solamente entre los meses de marzo a mayo y de noviembre a diciembre el caudal del río Cauca es mayor, por tanto aumenta la brecha de dilución de contaminantes, pero no en su totalidad<sup>11</sup>.

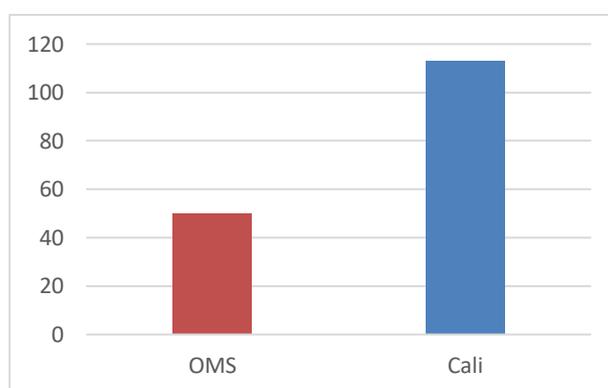
<sup>11</sup>Cabe remarcar que este análisis no considera la contaminación portante del río Cauca antes de ingresar a la ciudad, por tanto la capacidad de dilución podría ser mucho menor y por tanto el escurrimiento real podría ser menor.

#### 4. Sostenibilidad social

Se puede concluir que la Huella Hídrica total de la cuenca no es sostenible en la gestión 2015, el grado de contaminación de los cuerpos de agua dulce principalmente el río Cauca, muestran alteraciones ecológicas severas afectando tanto a la ciudad como a las comunidades aledañas. Este aspecto puede ser considerado un hotspot social, tomando en cuenta las necesidades humanas básicas que no son satisfechas para todas las personas en la zona y que no se cumplen las reglas básicas de igualdad.

Por otra parte, las necesidades humanas básicas relacionadas con el agua se definen como una cantidad mínima de suministro de agua potable, segura y limpia para beber, lavar y cocinar (de las Naciones Unidas, 2010) y una asignación mínima de agua para la producción de alimentos que aseguren un nivel suficiente de suministro alimenticio para todos. Este último derecho, el "derecho al agua para la alimentación" no ha sido establecido formalmente, pero la comida en sí misma como un derecho humano fue establecida en la Declaración Universal de Derechos Humanos (ONU, 1948). Según la Organización Mundial de Salud (OMS)<sup>12</sup> 50 litros per cápita por día atenderían las necesidades de la mayoría de las personas en casi todas las condiciones<sup>13</sup>. Es decir, se garantiza el abastecimiento mínimo de agua doméstica para beber, lavar y cocinar y una asignación mínima de agua para la producción de alimentos para asegurar un nivel suficiente de suministro de alimentos; en la ciudad de Cali el uso de agua diario por los habitantes se establece en un promedio de 113 litros.

Figura 8. Análisis del consumo per cápita de agua en el tiempo (litros/habitante/día)



Fuente: Elaboración Propia

#### **Hotspot social:**

El alto consumo per cápita de agua en Cali está muy por encima del mínimo requerido por una persona, además cabe resaltar que este volumen se incrementa a más de 200 litros al día por persona, si tomamos en cuenta las altas pérdidas en el sistema que alcanzan el 55%.

El innecesario consumo de agua genera mayor contaminación por efluentes en el

<sup>12</sup>(Bartram, 2003 )

<sup>13</sup>Cabe observar que la calidad de esta agua debe tener un nivel tolerable de riesgo. Este volumen no considera las demandas relacionadas con la salud ni el bienestar que se encuentren fuera del uso doméstico común, por ejemplo, el uso del agua en centros de salud, la producción de alimentos y las actividades comerciales o recreativas.

acuífero y por tanto mayor destrucción del ecosistema en cuerpos de agua dulce y en el estuario que es el final cuerpo receptor de las mismas.

Por otra parte, las reglas básicas de igualdad son que los usuarios paguen por el agua y los que la contaminen paguen por contaminarla. Otra regla de igualdad es que exista un uso razonable de los bienes públicos. Dado que el agua dulce es, básicamente, un bien público, puede ser considerado injusto, que algunos usuarios consuman más allá de su parte equitativa de un acuífero.

**Hotspot social:**

En Cali solo se trata el 63% de las aguas residuales generadas en todos los sectores de la ciudad, por tanto existe un 37% de efluentes residuales que son vertidos directamente al río, causando graves impactos ambientales en la cuenca.

Considerando que los ríos que proveen de agua a la ciudad podrían reducir su caudal por efectos del cambio climático y tomando en cuenta el crecimiento poblacional, es necesario controlar el cumplimiento de la normativa regulatoria del vertido de efluentes.

Por otra parte es importante incentivar la recirculación de agua tratada en sistemas de agricultura y ganadería, riego de áreas verdes de la ciudad, limpieza y otros, de modo que el uso de agua sea más eficiente.

Las necesidades humanas básicas y las reglas de justicia son criterios que son difíciles de cuantificar en forma de límites definidos. Dependerá de la opinión de expertos demostrar si se violan las necesidades humanas básicas relacionadas con el agua o las normas de igualdad de una cuenca determinada. La existencia de conflictos por el agua demuestran en la práctica la existencia de tales violaciones (Gleick, 2010; Universidad Estatal de Oregon, 2010). En la práctica, los conflictos sociales por el agua a menudo surgen en el momento mismo de producirse los conflictos ambientales.

## 5. Sostenibilidad económica

La HH total de la ciudad es económicamente sostenible para la gestión 2015, sin embargo a mediano plazo se proyectan graves problemas de escasez y altos niveles de contaminación en la cuenca. Los beneficios de la HH (verde, azul o gris) que resultan de usar el agua para un fin determinado deben sobrepasar el costo total asociado a esta huella, incluidas externalidades, costos de oportunidad y otras primas de escasez de agua. El agua en una cuenca debe ser asignada en forma económicamente eficiente a los diferentes usuarios (eficiencia de asignación) y cada usuario debe utilizar su agua asignada de manera eficiente (eficiencia productiva). Cuando el precio del agua que paga el usuario está por debajo de su coste económico real, a menudo esto se traduce en un uso ineficiente de agua, por lo que puede ser importante considerar el porcentaje que se cobra a los usuarios del costo total del agua.

**Hotspoteconómico:**

Considerando que el 55% de agua producida se pierde por defectos en el sistema de red de distribución de agua, es necesario realizar inversiones para corregir estas deficiencias.

Por otra parte el costo de agua debe ser regulado para los usuarios, aspecto que tendrá un efecto positivo en la reducción del consumo de agua innecesario.

## **6. Limitaciones del Análisis**

- Este análisis basó sus resultados tomando en cuenta como volumen de efluente, estimaciones realizadas en función al volumen de agua consumida y el volumen de agua que se pierde como HH Azul, sin embargo se recomienda utilizar para evaluaciones futuras, el volumen de agua que efectivamente se genera como efluente, mediante controles de caudal en distintos puntos de la cuenca.
- El análisis de agua producida respecto al agua consumida, considera un valor de 55% de pérdidas en el sistema. Se recomienda realizar auditorías hídricas para determinar el porcentaje de agua que se pierde por mala gestión de presión y/o por tuberías en mal estado, a modo de identificar soluciones oportunas.
- Se recomienda realizar estudios para actualizar el dato de volumen de agua utilizado por habitante al día, para tener resultados más precisos de análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica en la ciudad de Cali.
- Será necesaria la ejecución de estudios complementarios que amplíen el uso de otros indicadores ambientales, obteniendo de esta forma una visión global sobre el uso y consumo de los recursos hídricos.

## **7. Bibliografía**

Bartram, G. H. (2003 ). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health* . World Health Organization .

Cherry, R. A. (1979). *Groundwater Prentice Hall: Englewood Cliffs*. New Jersey, 1979: p.5.

EMCALI, Empresa Municipal de Cali. (2015). Datos de infraestructura sanitaria. Cali, Colombia.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). Resolución 631. *Límites de calidad de agua residual máximo permisibles para el vertido en cuerpos de agua superficial y subterránea*. Colombia.

Water Footprint Network. (2011). *The Water Footprint Assesment Manual*. London • Washington, DC.