

FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
SEDE ECUADOR
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO
CONVOCATORIA 2012-2014

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA
ECOLÓGICA**

**LA SED DE LAS CIUDADES: ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD Y GESTIÓN
HÍDRICA A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN
LA CIUDAD DE GUARANDA**

GUILLERMO BENJAMÍN LOMBEIDA MIÑO

MAYO DE 2015

FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
SEDE ECUADOR
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO
CONVOCATORIA 2012-2014

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA
ECOLÓGICA

LA SED DE LAS CIUDADES: ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD Y GESTIÓN
HÍDRICA A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN
LA CIUDAD DE GUARANDA

GUILLERMO BENJAMÍN LOMBEIDA MIÑO

ASESOR DE TESIS: FANDER FALCONÍ

LECTORES/AS: RAFAEL BURBANO

MYRIAM PAREDES

MAYO DE 2015

DEDICATORIA

A mi padre y madre, Guillermo y Magdalena, por enseñarme que el esfuerzo y la honradez representan la esencia misma de una persona.

A mis hermanas Tania y Mónica por su apoyo continuo y constante.

Pero especialmente a ti Abiel, cada día complementas mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la visión acertada y coherente de mi tutor Fander Falconí, mi más sincera gratitud. Quiero agradecer a Rafael Burbano por su tiempo y apertura para la construcción de esta investigación. A mis compañeros de maestría, son grandes personas. A la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda por la información proporcionada. Finalmente, agradezco a FLACSO por brindarme la oportunidad de crecer académicamente y ser un aporte propositivo para el desarrollo del país.

ÍNDICE

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	10
Planteamiento del problema	10
Preguntas de investigación	12
Hipótesis.....	12
Objetivos.....	12
CAPÍTULO I.....	14
DEL METABOLISMO SOCIAL AL FLUJO ENTRÓPICO DEL AGUA	14
1 Introducción.....	14
1.1 Entropía como base para el metabolismo socio-hídrico	15
1.2 Metabolismo hídrico: agua virtual y huella hídrica	22
1.2.1 Agua virtual y Huella hídrica	24
1.3 Los flujos de materiales en Ecuador y su relación con el agua	28
1.4 Conclusiones.....	31
CAPÍTULO II.....	33
SITUACIÓN INSTITUCIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN GUARANDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FLUJO ENTRÓPICO DEL AGUA.....	33
2 Introducción.....	33
2.1 ¿Cuál es el flujo entrópico del agua en Guaranda?.....	34
2.1.1 Descripción teórica.....	35
2.2 Diagnóstico del Sistema: Guaranda.....	37
2.3 Factores institucionales.....	39

2.3.1	Característica de las empresas públicas de agua y saneamiento	39
2.3.2	Problemática en el servicio de agua potable.....	41
2.3.3	Problema institucional en saneamiento	42
2.3.4	Discusión de la "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua"	43
2.3.5	Capacidad institucional para la gestión del agua en Guaranda	46
2.3.6	Sin base legal ¿es viable la sustentabilidad del agua en Guaranda?.....	47
2.3.7	Incumplimiento de normas nacionales en Guaranda.....	49
2.4	ENTRADAS	50
2.4.1	Características del sistema agua en Guaranda.....	50
2.4.2	Calidad de las fuentes y agua producida	51
2.4.3	Comportamiento de la demanda de agua en Guaranda	52
2.5	SALIDAS.....	54
2.5.1	Descripción del problema de saneamiento	54
2.5.2	Descargas de aguas residuales.....	56
2.5.3	Estado de las aguas residuales	57
2.6	Indicadores de gestión de la EMAPA-G.....	58
2.6.1	Indicadores financieros.....	58
2.6.2	Indicadores Operacionales.....	60
2.7	Cálculo del balance de agua urbana.....	62
2.8	Conclusiones	65
CAPÍTULO III		67
ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO		67
3	Introducción	67
3.1	La propuesta de reutilización	69

3.2	Análisis Multicriterio	70
3.3	Técnica para el análisis de AMC: NAIADE.....	76
3.4	Definición y estructuración del problema.....	77
3.5	Descripción de las alternativas planteadas.....	78
3.5.1	Situación actual	78
3.5.2	Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas.....	79
3.5.3	Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales.....	80
3.6	Descripción de las dimensiones y criterios.....	80
3.6.1	Definición de indicadores.....	81
3.7	Metodología de criterios	82
3.7.1	Estructura de las dimensiones.....	82
3.7.2	Dimensión Social.....	82
3.7.3	Dimensión Ambiental.....	84
3.7.4	Dimensión Económica.....	91
3.8	Análisis de resultados del método NAIADE	97
3.8.1	Matriz de Impacto.....	97
3.8.2	Análisis por cada dimensión.....	98
3.8.3	Resultados del AMC.....	101
3.8.4	Comparación en pares de las alternativas.....	102
3.9	Matriz de Equidad.....	107
3.10	Conclusiones	110
CAPÍTULO IV		112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		112
BIBLIOGRAFÍA		121
ANEXOS		131

RESUMEN

El agua es un componente que forma parte de la riqueza de una nación, por lo que su conservación y buen uso depende de las acciones que hoy se puedan hacer. Actualmente, se vive un presente poco alentador, con una prospectiva a futuro en el que la presión por los recursos que parecían abundantes se irá incrementando y empiecen a escasear, lo que ocasionaría que en algún momento sean considerados como *eslabones perdidos*. En el caso del agua dulce, no existe ningún elemento químico en la tierra que lo reemplace.

Existen patrones de consumo intensivos por parte de las actividades antropogénicas que se realizan en las ciudades; esto de alguna manera afecta a la conservación de las fuentes propias de agua por medio de la presión hacia los mantos freáticos y por la contaminación. La situación actual ha obligado a las urbes a importar el recurso de distancias más alejadas a la de su localidad, ya que se han sobrepasado los requerimientos de abastecimiento que las fuentes propias pueden surtir.

Las ciudades pueden ser consideradas como un ente vivo que por un lado necesita de recursos para el funcionamiento de sus actividades, pero que también producen desechos que contaminan, esto tiene relación directa con el metabolismo socioeconómico que transforma productos de *baja entropía* (leña) en *alta entropía* (ceniza); por lo que los recursos ya sean renovables o no renovables están sujetos a leyes físicas de la naturaleza como la entropía. Dentro de esta dinámica, el agua también está sometido a esta Ley, llamándole como la "entropía del agua", que empieza con el mismo ciclo hidrológico, en el que la luz solar actúa como la única fuente de energía directa y gratuita que ingresa al planeta.

El flujo entrópico del agua tiene relación directa con las ciudades, pues permite comprender el balance de cuánta agua entra (*input*) y cuanta sale (*output*) del sistema urbano, por lo que su contabilización y conocimiento permitirá generar políticas hídricas acordes a la realidad. El fortalecimiento de gestión a partir de una visión metabólica implica reconocer que el agua apta para el consumo humano tiene un límite, y que su conservación depende de varios aspectos como el fortalecimiento de la institucionalidad hídrica. El problema fundamental a solucionar referente a los recursos hídrico es la contaminación, que vendría a ser el *talón de Aquiles* de cualquier modelo

de gestión hídrica; en este caso, las actividades antrópicas han sido causantes de que las fuentes, ríos, esteros, manglares, etc., sufran deterioros que en algunos casos es irreversible, por lo que la política institucional en Ecuador debe orientarse a solucionar los problemas de calidad y cantidad del recurso.

El tema de gestión hídrica orientada a la conservación es una alternativa a los modelos convencionales de gestión, de cierta forma mejoran la sustentabilidad del recurso por medio de una plataforma institucional, con políticas que promuevan una cultura de ahorro a partir de la gestión de demanda, donde el agua es considerado un activo *ecosocial* que cumple diversas funciones ambientales, sociales y económicas, dejando a un lado la percepción de que el agua solo actúa como un insumo para la producción o el consumo.

La presente investigación estudia la gestión del agua en el sector urbano de Guaranda, provincia Bolívar, para lo cual parte desde una sección introductoria seguido de tres capítulos. El primero abarca la parte teórica empezando por el metabolismo social como concepto que se encarga del estudio de la movilización de recursos renovables y no renovables hacia las actividades humanas, pero que se encuentra regido a las leyes físicas como la entropía, donde el agua es un recurso finito. La figura para describir al agua toma forma cuando se la relaciona con el metabolismo hídrico a partir de sus cuatro fases: *extracción, apropiación, transformación y consumo*; abarcando los conceptos de "agua virtual" y "huella hídrica". Esta base teórica sirve como hilo conductor para desarrollar los próximos capítulos, donde se contextualiza el flujo entrópico del agua en Guaranda, y posteriormente se demuestra la posibilidad de un manejo sustentable del agua a través de nuevas alternativas de conservación.

El segundo capítulo describe el manejo del agua en Guaranda, mediante un esquema del flujo entrópico urbano como punto de partida, con el objeto de calcular el balance hídrico (flujo entrópico del agua) de la ciudad. Posteriormente, se estudian los factores institucionales que rigen como modelo gestor para el manejo del agua potable y saneamiento, analizando la problemática del recurso hídrico en la localidad. Se calcula la demanda futura de agua a partir del crecimiento demográfico de la urbe frente a la capacidad instalada de suministro. Finalmente se realizan cálculos de indicadores de gestión referente a la entidad encargada en el manejo.

El tercer capítulo abarca la parte empírica de la investigación, el objetivo fundamental es analizar si la reutilización de aguas residuales tratadas puede mejorar la sustentabilidad hídrica en la ciudad de Guaranda. Para este fin, se utiliza como herramienta metodológica el análisis multicriterial, que permite la interacción de variables cualitativas y cuantitativas, que comprenden tres dimensiones (ambiental, social, económico), cada una con sus respectivos criterios; sujeto a tres alternativas a evaluar (Situación actual, Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas, Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales).

En el análisis multicriterio se utiliza el método de evaluación NIAIDE que permite tomar una mejor decisión para este tipo de investigaciones que tienen como objetivo ver que alternativa de gestión es más adecuada para mejorar la sustentabilidad hídrica. En el análisis se obtiene una matriz de impacto donde se evalúa a las alternativas frente a los criterios; y una matriz de equidad donde interactúan los actores sociales involucrados en la temática.

El camino que construye ésta investigación es orientar un nuevo esquema de gestión que pase de lo convencional como marco primordial para la sustentabilidad. Para este fin, la gestión de la demanda debe ser el punto de partida para un adecuado manejo por parte de los actores políticos, donde se recalque que las sociedades tienen límites naturales a su capacidad propia de consumo, y se promuevan políticas de reutilización que optimizan el uso de recursos hídricos. El agua debe tener un protagonismo político más trascendental, dejando de lado la visión de insumo productivo, y más bien interpretando al recurso como un activo que cumple funciones ecosistémicas en la sociedad.

INTRODUCCIÓN

La creencia de que los combustibles fósiles manejan el orden mundial es una visión errada de la realidad creada por los intereses del capital. Se puede aseverar que el modelo mundial se desarrolla en una economía basada en el agua, pues no existe ningún elemento que pueda remplazar la importancia de los recursos hídricos para el funcionamiento de todas las actividades socio-económicas del planeta.

Un punto central de esta investigación es el estudio de la sustentabilidad hídrica sobre la dinámica de las ciudades. Gran parte de las urbes deben solucionar problemas referente a la escases de agua; las fuentes propias ya no abastecen a la demanda interna, y se debe importar el recurso de distancias cada vez más lejanas a su jurisdicción. Sería oportuno preguntarse entonces ¿qué pasará cuando el agua de las ciudades empiece a agotarse? Las ciudades empezarán a sentir sed, por llamarlo así. Esto se irá vislumbrando en problemas referente a salud, abastecimiento, calidad, etc.; es decir, se paralizarían las actividades antrópicas urbanas.

Ecuador se caracteriza por ser un país abundancia hídrica, según datos de la FAO (2013) el agua total superficial es de 424 Km³/año, al parecer una cifra bastante grande para suponer que podría existir escases. La realidad nacional es totalmente contradictoria, el agua no está distribuida de una manera equitativa a la sociedad que garantice un acceso universal y sustentable al recurso. A su vez, la sociedad mantiene hábitos de consumo que genera grandes desperdicios de agua de alta calidad. La falta de orientación por parte de los hacedores de política que solo se enfocan en la dotación del servicio de agua y saneamiento, provoca que no se genere una gestión de demanda orientada a la sustentabilidad y conservación del recurso como la reutilización de aguas residuales tratadas hacia otras actividades.

Planteamiento del problema

La sustentabilidad respecto al recurso hídrico puede ser descrita como la habilidad para planificar y gestionar los recursos hídricos para que puedan ser utilizados de manera sustentable para las generaciones futuras (Westrell, 2004: página citado en Pinto et al. 2008). En ciudades pequeñas de Ecuador, el manejo sustentable del recurso hídrico ha sido muy pocas veces considerado como un tema importante en la agenda, lo que evidencia que el 92% de las aguas residuales producidas en el país no son tratadas previo a su descarga en ríos o quebradas (SENPLADES, 2007).

El interés de la investigación se centrará en estudiar la dinámica hídrica en la ciudad de Guaranda proveniente de los páramos del Chimborazo en el sector el Arenal, y por sus características demográficas (aproximadamente 30 mil habitantes); que le hacen apta para ejecutar un modelo diferente de gestión hídrica urbana orientada a la reutilización de aguas residuales tratadas municipales hacia el sector agrícola en las zonas periurbanas donde no existen sistemas de riego.

El cantón Guaranda se caracteriza por tener fuertes precipitaciones y altos déficits hídricos en un mismo año, debido a múltiples factores como el cambio climático, expansión de la frontera agrícola, deforestación, entre otros. Esto genera problemas de déficit hídrico (5-25 mm/año de precipitación) en la temporada de verano, cuando en esta época es la que más se demanda el recurso agua para el consumo humano y usos agropecuarios (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2011).

Respecto a las características de demanda de la población, en promedio una familia de cinco miembros consume entre 25 y 30 m³/mes de agua, de los cuales gran parte de los residuos desemboca directamente en el río sin ningún tratamiento previo. El 80% de las aguas negras y aguas grises¹ tienen como destino el río Guaranda (el resto es depositado en pozos sépticos en las zonas marginales sin alcantarillado), que se conecta con el río Salinas aguas abajo. Este último se halla contaminado con los químicos de la actividad industrial de la parroquia Salinas (procesamiento de lana y otros productos). Se calcula que las pequeñas industrias producen el 50% de la contaminación, el 50% restante se origina en aguas residuales producidas en la ciudad y los botaderos de basura ubicados a orilla del río. Para evitar que la deuda ambiental siga incrementándose la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPA-G) tiene previsto un proyecto para construir una planta de procesamiento de aguas residuales que aún se encuentra sin fecha de iniciación (MAE, EMAPA-G; página citado en El Telégrafo, 26 mayo 2013).

El manejo de los servicios de agua y especialmente de saneamiento de la ciudad no se ha enfocado hacia la conservación y el cuidado ambiental. La escasa planificación se ve reflejada en la mala gestión de las aguas residuales que son descargadas

¹ La aguas grises provienen del uso que se da al lavar los platos, las manos, etc., es decir, aguas que no contienen desechos cloacales que son las aguas negras.

directamente a los ríos sin pasar por un tratamiento previo. Por esta razón, es necesario que la ciudad entre en un nuevo modelo que se enfoque en mejorar la sustentabilidad hídrica, dirigida hacia la conservación del recurso a partir de la reutilización del agua hacia otras actividades. Esta nueva pauta marcará un tipo de gestión hídrica en el país, que se enfoca directamente en el manejo sustentable del agua en las ciudades, con el máximo aprovechamiento del recurso.

Preguntas de investigación

Con la problemática anteriormente planteada nacen las siguientes preguntas de investigación.

¿Es sustentable la gestión del recurso hídrico en la ciudad de Guaranda?

¿La institucionalidad en Guaranda contribuye a mejorar la sustentabilidad hídrica?

¿Una política local a través de una gestión hídrica orientada hacia la reutilización de aguas residuales tratadas municipales contribuirá a un manejo sustentable del recurso en Guaranda?

Hipótesis

1. La reutilización de aguas residuales tratadas contribuye a una gestión sustentable con beneficios ambientales y sociales. Permite regenerar el recurso y orientarlo hacia el uso de otras actividades que no requieren agua de alta calidad, favoreciendo la conservación y ahorro de las fuentes hídricas.
2. La gestión del recurso hídrico en la ciudad de Guaranda no es sustentable debido a una gestión inadecuada y a un marco institucional débil en el manejo del agua, dando como resultado el deterioro de la calidad y cantidad del recurso con inexistentes mecanismos de aprovechamiento sustentable.

Objetivos

Objetivo General

Determinar si una política de reutilización de aguas residuales tratadas en la ciudad de Guaranda permite mejorar la sustentabilidad hídrica.

Objetivos específicos

1. Realizar una investigación conceptual partiendo desde el metabolismo social como nexo para la formulación del concepto del flujo entrópico de agua.
2. Analizar la situación actual de la gestión del recurso hídrico en Guaranda a partir de un contexto institucional nacional y local.
3. Describir indicadores de gestión financieros y operacionales de la entidad encargada del manejo del agua en la ciudad.
4. Elaborar el cálculo del balance hídrico urbano de Guaranda.
5. Analizar a través de un análisis multicriterio si una política de reutilización de aguas residuales tratadas en la ciudad de Guaranda mejora la sustentabilidad hídrica.

CAPÍTULO I

DEL METABOLISMO SOCIAL AL FLUJO ENTRÓPICO DEL AGUA

1 Introducción

La Termodinámica es un enunciado de la física que se encarga de transferir energía como calor y trabajo (movimiento), y toma fuerza en el año de 1824 cuando Sadi Carnot publicó "*Reflexiones sobre la energía motriz del fuego*". A partir de este escenario la termodinámica marca su inicio como ciencia y se desarrollan tres leyes. La Primera Ley llamada también *principio de conservación de la energía* que menciona que la materia y la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. La Segunda Ley es la *entropía* que explica la degradación continua e irreversible de la energía y la materia (Teruel, 2003: 72), es decir, que extraer los recursos de los sistemas biológicos e inertes llegará a un punto máximo hasta que su rendimiento sostenible lo permita. La Tercera Ley enuncia el "Teorema de Nerst" como "una reacción química entre fases cristalinas que ocurre en el cero absoluto y no produce ningún cambio de entropía" (Rodrigo, 2003). Para el propósito de éste capítulo y de la tesis en general, la investigación se va a basar en los principios de la Segunda Ley de la Termodinámica, la entropía.

La *Ley de la Entropía* pone un límite al uso de todos los "recursos renovables" y "no renovables", lo que hace impensable que el actual ritmo de extracción y consumo continúe de manera indefinida. Desde este punto de vista, el agua no podía ser la excepción; aparentemente, parecería que este recurso nunca escasearía, pero este enfoque solo puede ser percibido en aquellos países con abundantes recursos hídricos; por ésta razón, es necesario que el agua sea analizada desde un enfoque más integral, ya que se encuentran inmersos procesos no sólo ambientales sino productivos. El metabolismo hídrico, es una alternativa que abarca la importancia que tiene el agua no sólo para las diversas actividades humanas; sino, que se fija en aspectos culturales e institucionales que permiten mantener una adecuada integración de los recursos hídricos en la sociedad.

En este primer capítulo de investigación, se realiza un recuento de los principales conceptos de metabolismo social, para tratar de armar una concepción orientada al metabolismo hídrico, que no solamente vislumbre su importancia tangible, sino que refleje también su parte intangible, que es la unión entre los procesos sociales con la cultura, instituciones, tradiciones, etc. Además, la concepción de metabolismo

hídrico se acerca a los indicadores de “agua virtual” y “huella hídrica”, relacionados a los procesos de producción y consumo, respectivamente. Esta reflexión sobre estos indicadores, invita a pensar que el agua no debe ser vista como un elemento aislado de todas las actividades metabólicas de una sociedad; pues representa la mayor parte en términos de volumen que entran en los procesos metabólicos.

De esta manera, el estudio de los recursos hídricos involucra una unión directa entre lo económico, social y ambiental, que juntas forman las directrices para tratar de alcanzar la sustentabilidad. En este capítulo, se invita a reflexionar sobre otros conceptos que estudian a la sociedad de una manera más integral y centrada, a través de los procesos metabólicos. Además, se finaliza con un análisis sobre los diferentes estudios realizados en Ecuador sobre los flujos de materiales con el fin de examinar si existe una implicación con el metabolismo hídrico.

1.1 Entropía como base para el metabolismo socio-hídrico

La economía convencional ha considerado a los recursos naturales como insumos o factores de producción², y aunque en la teoría se dice que la economía se enfrenta a recursos escasos que deben ser manejados eficientemente, en la práctica se observa que no se aplica esta concepción; dejando de lado su importancia ecosistémica como activos que cumplen un rol para que la economía y sociedad pueda funcionar. Se puede decir que la economía como tal ha mercantilizado los recursos naturales en el actual modelo globalizante, sin añadir valor alguno a las funciones ecosistémicas de la naturaleza. Ante esta percepción de la realidad, es necesario buscar otras apreciaciones interdisciplinarias como la economía ecológica que permite explicar la relación entre economía, sociedad y naturaleza, desde una visión más sustentable.

El planeta tierra es un sistema cerrado a la entrada de materiales y abierto a la entrada de energía, solamente la luz solar es la encargada de viabilizar la mayoría de las actividades humanas. Los recursos renovables se alimentan de luz solar, pero a medida que se van sobre-utilizando, estos también empiezan a escasear. En el principio de la especie humana, la *verticalidad* de los materiales se convierte en la base de subsistencia para la humanidad; es decir, por medio de los procesos naturales de regeneración, se podía nuevamente utilizar los mismos recursos. “Este *metabolismo básico* se sustenta en la reproducción natural de los recursos: el agua dulce, el aire, y la biomasa vegetal o

² Tierra, capital y trabajo según la economía clásica de Adam Smith.

animal” (Fischer-Kowalsky y Haberl, 2000: 22). No obstante, el ser humano paulatinamente se va alejando de esta concepción *vertical* de los procesos de regeneración de la biósfera, cuando empieza a utilizar masivamente los combustibles fósiles para acelerar los procesos de extracción de los recursos naturales; convirtiéndolo en un mecanismo de transporte *horizontal* (Naredo, 2006: 48).

Este mecanismo *horizontal* también conocido como “*metabolismo ampliado*”, se orienta a la movilización de recursos desde fuera de la biosfera, estos son conocidos como los recursos no renovables; su ritmo de extracción en la actualidad es muy superior a su ritmo de reposición natural (Fischer-Kowalski y Harberl, 2000: 22). Por tanto, se puede mencionar que existe una relación directa entre la Segunda Ley de la Termodinámica (Entropía) y el metabolismo social. El uso intensivo de materiales de baja entropía³, necesarios para los procesos metabólicos, se degrada a medida que incrementa el metabolismo de las sociedades inhabilitando nuevamente su uso, convirtiéndolos en productos o residuos de alta entropía.

Según Georgescu-Roegen (1971: 353) “el proceso económico es entrópico: no crea ni consume materiales o energía sino que solamente transforma baja entropía en alta entropía”; es decir, la producción aparece como un proceso irreversible de degradación entrópica. Es así, que la entropía juega un papel fundamental en establecer límites al sistema económico:

El problema por los límites del crecimiento no surge por el agotamiento de los recursos naturales (renovables y no renovables), ni por los límites de la tecnología para extraerlos y transformarlos; ni siquiera por los costos crecientes de generación de recursos energéticos. Los límites del crecimiento económico los establece la *ley límite de la entropía*, que gobierna los fenómenos naturales de la naturaleza y que conduce el proceso irreversible [...] de la degradación de la materia y la energía (Leff, 2004: 137).

Los procesos de degradación entrópica del metabolismo de los sistemas vivos y del proceso económico-tecnológico de transformación de materia, abren la puerta de este

³ Para describir, la baja entropía en economía vendría a ser todos los insumos necesarios de una persona para el proceso económico como madera, cobre, tierra, petróleo, etc. En cambio, la alta entropía es la transformación del producto, por ejemplo un trozo de madera cuando se incinera se transforma en ceniza. Es decir, una estructura presentará alta entropía cuando toda o la mayoría de su energía sea no disponible, y una estructura será de baja entropía cuando la mayoría de su energía sea disponible (Carpintero, 1999: 338).

capítulo para acercarse al concepto de metabolismo hídrico y socioeconómico. Se establece que la entropía está presente en todos los procesos productivos que ocurren en la tierra; incluso en el reciclado de materiales utilizados (excepto la energía), pues éste nunca llegará a alcanzar una eficiencia del cien por cien. En palabras de Odum (1992) “para reciclar agua y nutrientes se requiere un gasto de energía que no es reutilizable” (Odum 1992: página citado en Carpintero, 1999: 246). Desde este punto de vista termodinámico, el reciclado sería físicamente posible si se tuviese la energía disponible; sin embargo, esto supondría un incremento de la entropía llegando a niveles de insostenibilidad de la biosfera, en otras palabras, el reciclado completo resulta imposible.

Recapitulando, el aprovechamiento de los recursos naturales tiene un límite. Este concepto, es el punto de partida para tener un panorama más claro y objetivo sobre los procesos metabólicos de la sociedad; pues su relación con la “Ley de la Entropía” es directa, se cuenta con *inputs* (que son recursos generalmente no renovables) de baja entropía, y su transformación produce *outputs* (bienes y servicios pero también residuos) de alta entropía.

Teniendo claro la importancia de la entropía en las actividades de la sociedad, se pueden desarrollar las principales percepciones del metabolismo. Conceptualmente, el metabolismo se refiere a procesos biológicos internos de un organismo vivo, en el que se mantiene “un intercambio continuo de materias y energía con su medio ambiente que permiten su funcionamiento, crecimiento y reproducción” (Fischer-Kowalski y Haberl, 2000: 21). Este concepto biológico es adaptado por Wolman (1965) para los diversos procesos económicos y sociales en su artículo “*The Metabolism of Cities*”; en el que destaca tres problemas que aquejan a las ciudades norteamericanas como: “la provisión adecuada del suministro de agua, la efectiva evacuación de aguas residuales y el control de la contaminación del aire” (Wolman, 1965: 179). Se evidencia que existe una gran importancia del agua en los procesos metabólicos de las ciudades, siendo el sector agrícola el que más recurso hídrico demanda. Sin embargo, en el estudio de Wolman y en muchos estudios de metabolismo, se cae en la trampa de la generalización, es decir, no se categoriza a los sectores que demandan materiales y energía. Por ejemplo, no puede tener el mismo metabolismo un agricultor que tiene para su subsistencia una pequeña chacra, que un agricultor industrial con fines de producción intensiva. La falta

de aclaración de los diversos sectores de la sociedad se convierte en uno de los problemas de los estudios metabólicos.

La percepción de Wolman permite visualizar a una ciudad como un organismo vivo que se alimenta de materiales y energía (inputs) como: agua, alimentos y energía; y que pasan por los procesos metabólicos de transformación y consumo, produciendo aguas residuales, desechos sólidos y contaminación del aire (outputs). Se puede entender que un problema que aqueja a las sociedades por el lado de la producción es el *qué hacer* con los residuos que se producen por las actividades metabólicas, sin olvidar que detrás de esta reversión y tratamiento de materia viene una carga entrópica adicional.

Los teóricos de la escuela de Viena como Fischer-Kowalski, han sido pioneros en el estudio del metabolismo socioeconómico, distinguiendo el “metabolismo básico” y el “metabolismo ampliado”, anteriormente mencionados. La transición que existe entre las sociedades de cazadores-recolectores hacia las sociedades agrícolas, refleja una transformación de un ecosistema natural a otro creado por las actividades humanas como: tierra para cultivos, pastizales y prados; sustituyendo a los ecosistemas naturales que paulatinamente se convirtieron en paisajes cultivados. (Haberl et al, 2009: 2)

Esta transformación a partir de la innovación humana, se convirtió en un proceso adaptativo a las nuevas realidades mundiales, esto se refleja a través de un cambio de estructura al pasar de la provisión natural de recursos hacia la apropiación de estos; es decir, la “colonización de la naturaleza”. El término de “colonización” se refiere “a la intervención en los sistemas naturales, como las actividades sociales que deliberadamente cambian importantes parámetros de los sistemas naturales y los mantienen activamente en un estado diferente de las condiciones que reinarían en ausencia de estas intervenciones” (Fischer-Kowalski et al. 1997: página citado en Ficher-Kowalski y Haberl, 2000: 23). Este concepto involucra a “las actividades socialmente organizadas que alteran los sistemas naturales con el fin de aumentar los beneficios para los seres humanos a partir de esos sistemas” (Haberl et al, 2009: 2). Por tanto, los mecanismos que utilizan las sociedades para explotar los recursos naturales y poder transformarlos, se basan en la intensificación del trabajo y la tecnología, que son los pilares fundamentales de la evolución metabólica de las sociedades.

La *revolución neolítica*⁴ tuvo como resultado nuevos patrones de metabolismo social, como la alteración de las plantas, domesticación de animales y la transformación de los ecosistemas terrestres, lo cual reflejó la capacidad de “colonizar” los sistemas naturales, convirtiéndose en la condición necesaria para aumentar el metabolismo social. Esto creó las condiciones para los asentamientos humanos permanentes y para el crecimiento de la población, donde se puso en evidencia que a medida que las sociedades agrarias iban desarrollándose, éstas tenían la necesidad de lograr cada vez más un mayor rendimiento de los cultivos, pues la energía solar no abastecía a los nuevos requerimientos de la sociedad (Haberl, 2009: 4).

Esta transición socio-metabólica desde el “sistema de energía solar controlado” de las sociedades agrarias hacia un sistema de energía fósil, característico de las sociedades industriales, se visualiza a través de un mayor consumo de combustibles fósiles y otras fuentes de energía, como la energía nuclear y la energía hidroeléctrica (Haberl, 2006: 90, 92). Sin embargo, las nuevas fuentes de energías renovables (energía eólica, solar, etc.) representan solo un pequeño porcentaje en los países industrializados, por lo que podría pensarse que el actual modelo industrial de la humanidad aumentó los problemas de insustentabilidad que enfrentan las sociedades modernas.

En forma general, el concepto de metabolismo socioeconómico abarca todo el flujo de materiales y energía que se requieren para sustentar las actividades económicas humanas (Haberl et al, 2009: 3). El concepto de metabolismo surge como una visión sistémica que visualiza al sistema económico como un "sistema abierto", en el que se intercambian flujos físicos con los demás sistemas (Beltrán y Velázquez, 2011: 3). Es así, que el metabolismo “describe y cuantifica los flujos de materia y energía que se intercambian entre conglomerados sociales, particulares y concretos [con] el medio natural (ecosistemas)” (González de Molina y Toledo, 2007: 5).

Desde el punto de vista de González de Molina (2003) el metabolismo social puede ser definido de la siguiente manera:

Toda sociedad humana produce y reproduce sus condiciones materiales de existencia a partir de su metabolismo con la naturaleza. Dicho metabolismo comprende el conjunto de procesos por medio de los cuales

⁴ Paso de las sociedades de cazadores-recolectores a las sociedades agrarias.

los seres humanos organizados en sociedad, independientemente de su situación en el espacio (formación social) y en el tiempo (momento histórico), se *apropian, circulan, consumen y excretan*, materiales y/o energías provenientes del mundo natural (González de Molina, 2003: 29).

Desde esta línea, González de Molina (2003) empieza armar un concepto histórico del metabolismo, en el que establece las relaciones que los seres humanos tienden a establecer con la naturaleza, siendo estas: individuales o biológicas y colectivas o sociales. Estos dos niveles corresponden a la *energía endosomática* y *energía exosomática*, que representan los flujos de energía “bio-metabólica” y “socio-metabólica” respectivamente, y que juntos constituyen el proceso general de metabolismo entre naturaleza y sociedad.

La historia natural que ha venido construyendo la sociedad se expresa por su expansión metabólica, es decir, a través del tiempo la humanidad ha incrementado su energía exosomática sobre la energía endosomática (González de Molina, 2003: 29). Esto se explica por el mecanismo *horizontal* que la sociedad ha venido adoptando a lo largo de su historia natural y social, extrayendo la mayor cantidad de recursos a costa de un mayor uso de combustibles fósiles, expandiendo la carga entrópica del planeta.

El proceso general del metabolismo se ve expresado en la sociedad por cinco procesos en una representación llamada “caja negra”: *apropiación, transformación, distribución, consumo y excreción*⁵. Desde el punto de vista del *consumo*, el metabolismo social obliga a una mayor apropiación de los recursos naturales, a su transformación y distribución; lo que conlleva a utilizar más fuentes de energía, y da como resultado que el proceso de excreción sea uno de los más perjudiciales para el ambiente, ya que para su tratamiento, eliminación y almacenamiento, se necesita de nuevos procesos metabólicos (captación, transformación, transporte y almacenamiento de residuos) con un costo energético adicional.

Visto desde un contexto histórico metabólico, han existido tres tipos de metabolismos en la historia socioambiental del hombre: cazadores y recolectores, sociedades agrarias y sociedades industriales. El paso de sociedades cazadoras a

⁵ Por cuestiones de espacio no se explica los cinco procesos del metabolismo, para conocimiento del lector puede consultarse en González de Molina (2004: 30). Más tarde González de Molina y Toledo (2009) la llamarían “caja negra”, un término usado por los científicos que construyeron las primeras computadoras.

agrícolas es básicamente una consecuencia de las diferentes cantidades de biomasa requerida; es decir, la fase de *apropiación* del metabolismo es el elemento determinante de estas sociedades. Sin embargo, el aumento en escala metabólica entre "sociedad agrícola" y la "sociedad industrial" se debe al incremento de elementos como: energía fósil, minerales y metales. Esto va acompañado con el incremento en el consumo de recursos renovables; dando a entender la transición de un "metabolismo básico" a "un metabolismo ampliado", teniendo un mayor interés en las fases metabólicas de *transformación*, *consumo* y cada vez más de *excreción* (Ficher-Kowalski y Haberl, 2000: 26; González de Molina, 2003: 31).

Dentro del metabolismo, también se encuentra la concepción instrumental de la "Contabilidad de Flujos de Materiales" (*Material Flow Accounting*) que sirve para tener una visión sistémica del metabolismo social. Desde esta línea Adriaanse et al. (1997) en un estudio sobre el flujo de materiales en las economías industrializadas, lo define:

La contabilidad del flujo de materiales puede realizar un seguimiento sistémico de los flujos físicos de los recursos naturales a través de la extracción, la producción, la fabricación, el uso y el reciclaje y deposición final, contabilizando todas las pérdidas a lo largo del proceso. Esta técnica está motivada por el deseo de relacionar el uso de los recursos naturales a la capacidad del medio ambiente para proporcionar los materiales y absorber los desechos [...] proporcionando una visión global de las bases físicas de las economías industriales y derivando los indicadores de sustentabilidad (Adriaanse et al. 1997: 5).

En el trabajo de Adriaanse et al. (1997: 8) se proponen algunas definiciones entorno a los flujos de materiales⁶, que se lo puede entender a partir de la siguiente ecuación:

$$RTM = I + FMO$$

Donde:

- RTM: Requerimientos Totales de Materiales;
- I: Inputs (materiales directos);

⁶ Para mayor información sobre las diferentes clases de flujos de materiales, ver el trabajo de Adriaanse et al. (1997) en el siguiente sitio web: <http://www.wri.org/publication/resource-flows>

- FMO: Flujo de Materiales Ocultos (los requerimientos totales de materiales que nunca entran a formar parte de la valoración económica).

“*Los flujos ocultos*, corresponden a la categoría más importante del análisis del flujo de materiales, debido a que la presión que ejercen las economías sobre el medio ambiente (y por tanto, sobre la sustentabilidad) se debe a la dimensión alcanzada por los flujos ocultos no valorados monetariamente; y que representan la mayor parte de los requerimientos totales de materiales (RTM)” (Carpintero, 1999: 300).

En el trabajo de Adriaanse et al (1997) y de la mayoría de investigaciones sobre metabolismo y flujos de materiales, se excluyen elementos importantes como por ejemplo el agua. Por lo general, los flujos hídricos son separados de los flujos de materiales sin tomar en cuenta “las interdependencias que existen entre los sistemas económico, social y ambiental” (Steurer, 1996: página citado en Beltrán y Velázquez, 2011: 4), dejando a medias los análisis metabólicos de la sociedad, sin contabilizar los flujos ocultos del agua.

La no inclusión de los flujos hídricos en los estudios del metabolismo socioeconómico se debe al “carácter desequilibrante en términos cuantitativos, ya que las cantidades de agua y aire utilizados en la tierra se cifran en billones (10^{12}) de toneladas, mientras que el resto de materiales se cifran en miles de millones (10^9) de toneladas” (Madrid y Velázquez, 2008: 30). Este alejamiento de los flujos hídricos del metabolismo, se relaciona con la necesidad de mirar hacia nuevas formas de interpretar la importancia hídrica en la sociedad, economía y naturaleza; ya que el recurso agua actúa como el principal motor de todas las actividades productivas. El *metabolismo hídrico*, se apunta como un concepto que trata de mirar al agua no solamente como un factor de producción, sino que debe ser visto como un *activo ecosocial* que será tratado y ampliado en la siguiente sección.

1.2 Metabolismo hídrico: agua virtual y huella hídrica

El desarrollo de los conceptos de metabolismo hídrico puede tener su inicio en los conceptos de flujo-fondo que planteó Georgescu-Roegen (1971). Para empezar, el uso de un "fondo", es decir, su “desacumulación”, exige una duración que está determinada dentro de los límites debido a la estructura física del "fondo", según Georgescu-Roegen (1971: 297, 298) los “fondos” estarían representados por los factores de producción: tierra, capital y trabajo. Entre los elementos de flujo se encuentran los recursos

naturales, insumos intermedios, flujos de entrada (mantenimiento), productos y residuos.

En el caso del agua, la desacumulación de los elementos de fondos ecológicos generalmente no ocurre debido a la propia regeneración natural de los ecosistemas, sino que esta desacumulación ocurre por efecto de las actividades humanas. Esta característica de nombrar al agua como un fondo de los ecosistemas pone un “límite” a la cantidad y disponibilidad de recurso a ser utilizado como “flujo”, y que serviría para el metabolismo social (Madrid y Cabello, 2011: 15).

Pero más allá de mirar al recurso agua como un mero factor de “flujo”, es necesario traer las palabras de Marshall (1879) al referirse que “... el agua es un integrante de la riqueza nacional”, es decir, el agua cumple una serie de funciones satisfaciendo las necesidades humanas y ecológicas; convirtiéndose en un activo social, dejando de lado el pensamiento de que este recurso sólo cumpliría como insumo para satisfacer los factores de producción (Aguilera-Klink, 1994: 116, 117).

Desde esta percepción, el agua es considerado como un activo fundamental, no solo para la producción, sino como activo ecosocial o natural que se explica por “la capacidad que tiene el agua de satisfacer todo un conjunto de funciones económicas, sociales y ambientales, tanto de carácter cuantitativo como cualitativo” (Aguilera Klink, 2006).

Por tanto, el concepto de metabolismo hídrico (MH) “se define como un marco de análisis que cuantifica los flujos hídricos de la economía y refleja la dimensión social, ambiental, tecnológica, geográfica e institucional que corresponde a la parte intangible del metabolismo, inseparable de la parte tangible” (Beltrán y Velázquez, 2012: 15). La parte intangible del metabolismo puede ser considerada como aquel valor “simbólico y emocional” inserto en un contexto institucional y cultural (Aguilera-Klink, 1994: 118).

Siguiendo el concepto de metabolismo socioeconómico propuesto por Ficher-Kowalski y Haberl (2000), el metabolismo hídrico puede ser considerado como:

[...] [El] proceso que recoge los flujos de agua de una sociedad-económica en dos dimensiones: (1) flujos internos, referido a los flujos que tienen lugar entre una economía y el sistema hídrico del territorio

donde ésta se aloja y (2) flujos con el exterior, entendiendo por éstos los flujos desde (importación) y hacia (exportación) otros sistemas hídricos (Madrid y Velázquez, 2008: 31).

Este concepto de metabolismo hídrico corresponde al “agua virtual” y a la “huella hídrica”, que son los indicadores encargados de relacionar al agua con la producción de bienes y servicios, y con el consumo de los recursos hídricos. A continuación, se explicará a mayor detalle lo que menciona cada uno de estos conceptos, y cuál es su aporte para el metabolismo hídrico.

1.2.1 Agua virtual y Huella hídrica

Una aproximación al metabolismo hídrico empieza con los trabajos realizados por Allan (1993, 1994) sobre el “agua virtual” (AV), y Hoekstra y Hung (2002) sobre la “huella hídrica” (HH). En un inicio se utilizó la terminología de “agua incorporada” (*embodied water*), no en el sentido real, pero si en el sentido virtual. (Hoekstra, 2003: 13) El agua virtual “se refiere al agua utilizada en la obtención de un producto y, generalmente, no incorporada al mismo” (Naredo, 2009: 31).

El concepto de AV, adquiere un plus importante cuando se lo vincula al comercio, y se pone en evidencia el agua que se ahorraría un país si importaría un producto en lugar de producirlo, por tanto, se puede “entender por comercio de agua virtual la recolección del agua asociada a los productos que se intercambian” (Madrid, 2007: 41). Referente a esta percepción Hoekstra (2003: 14) desarrolla los conceptos de “agua virtual real” y “agua virtual teórica”. El primero hace referencia "al agua que realmente se utiliza para la producción de un bien o servicio en el mismo país de producción" (Velázquez et al, 2009: 139), y esto se da en aquellos países que tienen abundancia hídrica para producir un determinado producto (el arroz). En cambio, el AV teórica es "el agua que habría utilizado el país de destino de un bien importado, en caso de que éste hubiera sido producido en dicho país" (Velázquez et al, 2009: 139).

La productividad del agua (el volumen de agua necesaria por unidad de producto) es a menudo mayor en el lugar de la producción que en lugar del consumo (Hoekstra, 2003: 21). El "agua virtual" se puede definir desde dos enfoques diferentes:

Uno, desde el punto de vista de la producción y otro desde el punto de vista del consumo. El primer enfoque cuantifica el agua virtual como el agua realmente usada en la producción de una mercancía. En el segundo

enfoque, el agua virtual se define como la cantidad de agua que habría sido requerida para producir el producto en el lugar en el que es usado. Este segundo concepto es particularmente útil para reflexionar sobre cuánta agua podemos ahorrar importando mercancías en vez de producirlas nosotros mismos” (Chapagain y Hoekstra, 2006: 9).

El trabajo de Hoekstra y Chapagain sobre AV está relacionada generalmente con los productos agrícolas, dejando de lado a productos industriales debido a la complejidad de su cálculo. El AV se convirtió en "un indicador que no sólo proporciona datos sobre los requerimientos en la producción, sino que también sirve para analizar los flujos de comercio en términos de agua" (Velázquez et al, 2010: 4). Desde este punto de vista, se puede relacionar al AV como un instrumento de política para incrementar el suministro de agua (la oferta) en un momento particular.

Sin embargo, hay que tener cuidado al momento de tomar el agua virtual como único punto de análisis; visto desde la teoría de las ventajas comparativas, existe el riesgo de que un país especializado en la producción de un bien agrícola importante en la dieta alimenticia (maíz); deje de producirlo con el fin de importarlo desde otros países, debido al uso abundante de agua que requiere dicho producto, ocasionando una fuerte dependencia de terceros países.

Antes de dar paso al concepto de “huella hídrica”, es necesario aclarar conceptualmente la diferencia que existe entre AV y MH. El MH considera todos los flujos del agua de una economía (entradas, salidas y flujos internos del proceso económico); en cambio, el AV solamente considera las entradas y flujos sin entrar al análisis de los flujos internos de agua (Velázquez, 2009: 140).

El concepto de huella hídrica (HH) como tal, tiene su origen a partir de los primeros trabajos sobre “huella ecológica” que se desarrollaron en los años 90’s (Ress, 1992; Wackernagel y Ress, 1996; Wackernagel et al, 1997). “La huella ecológica de una población representa el área de tierra productiva y ecosistemas acuáticos requeridos para producir los recursos utilizados, y para asimilar los residuos producidos [es decir] cuantifica el área necesaria para sostener la vida de las personas, [mientras] la huella hídrica indica el agua requerida para sostener una población” (Chapagain y Hoekstra, 2006: 2).

El concepto de “huella hídrica” fue introducido por Hoekstra y Hung (2002: 15), siendo el total de agua virtual acumulada de todos los bienes y servicios consumidos por un individuo o por los individuos de un país (Hoekstra, 2003: 15); es decir, se toma el total de agua para uso nacional⁷, restando el agua virtual que se va del país y añadiendo el agua virtual que entra al país (Chapagain y Hoekstra, 2004: 11). La HH indica el volumen de agua anual indispensable para sostener la producción de bienes y servicios consumidos y exportados por los individuos de un país. Además, puede ser una herramienta importante para mostrar a la población su impacto sobre los recursos naturales enfatizando en los hídricos.

Contextualizando, el AV fue definido como un indicador físico de la cantidad de agua necesaria para producir bienes y servicios, y la HH es la cantidad de agua necesaria para producir los bienes y servicios que son consumidos por un individuo o un país. A partir de este enfoque, el AV puede ser considerado como un indicador desde la perspectiva de la producción, mientras que la HH es un indicador desde el consumo (Velázquez et al, 2010: 2). Estos indicadores, especialmente el de AV, han sido desarrollados desde una perspectiva netamente contable, dejando de lado la importancia de los servicios sistémicos de los ecosistemas en la producción de bienes y servicios.

El punto de vista de Naredo (2009: 43) sobre el AV y HH es muy acertado, ya que estos indicadores resultan ser demasiado burdos al tratar de la misma manera a todos los requerimientos de agua. Un análisis más detallado y consecuente debería diferenciar las distintas consecuencias que tienen sobre el agua los diversos usos de la misma, tomando en cuenta que no todas las actividades requieren o utilizan agua de la misma calidad. Además, la carencia de estos indicadores se evidencia al limitar la importancia del *ciclo hidrológico*, pues no permite tener una realidad más asertiva en lo que respecta a los recursos hídricos.

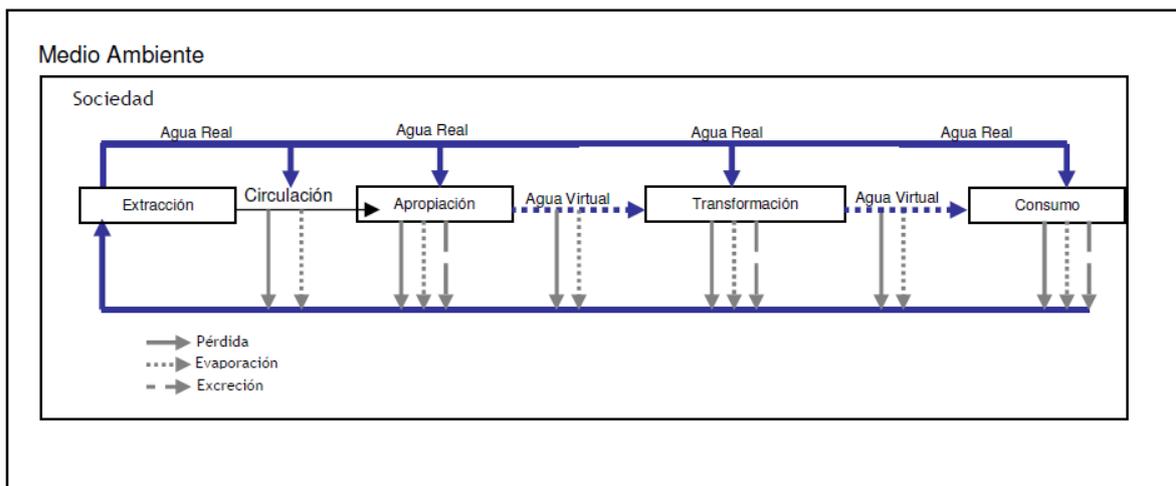
Para la construcción del metabolismo hídrico, tomando como base conceptual el metabolismo socioeconómico, se debe cuantificar los flujos de agua y explicar las fases metabólicas; generalmente, mediante la “caja negra” (González de Molina y Toledo, 2009); esto debe estar relacionada con el conjunto de los flujos y requerimientos del

⁷ Idealmente se debería referir a la suma del consumo de agua "azul" (en referencia a la utilización de las aguas superficiales y subterráneas) y el uso del agua "verde" (en referencia a la utilización de las precipitaciones) (Hoekstra, 2002: 16).

metabolismo económico. Para visualizarlo de mejor manera, se toma el gráfico de Beltrán y Velázquez (2011: 28), observando un esquema con todo el andamiaje conceptual anteriormente descrito y relacionando el metabolismo hídrico con el sistema económico (ver gráfico 1).

En el gráfico se observa un nuevo elemento que es el *agua real*, entendida como el agua captada directamente del ecosistema para cada una de las fases metabólicas, este elemento a su vez, sufre pérdidas y se evapora limitando su disponibilidad futura. El esquema utilizado corresponde a un proceso de producción-consumo, empezando desde su fase de extracción hasta el consumo de bienes y servicios. La etapa de apropiación estaría relacionada con el sector agrícola, en cambio el de transformación con el sector industrial.

Gráfico 1. Metabolismo hídrico expandido



Fuente: Beltrán y Velásquez (2011).

Lo relevante de este esquema es que, 1) permite conocer los requerimientos hídricos en cada fase pudiéndolos cuantificar a través de los flujos de agua y; 2) analiza la disponibilidad que tienen los ecosistemas para proveer recursos hídricos para cada una de las fases metabólicas, por medio de un balance hídrico que visualice la calidad y cantidad del mismo.

Se evidencia una relación directa entre el metabolismo y las leyes de la Termodinámica. A través de los ciclos hidrológicos, el agua se mueve a través de la "Ley de Conservación de la Cantidad" (primer principio de la termodinámica) y por la "Ley de Evolución de la Calidad" ("Ley de la Entropía"). Estos principios rigen todo el

comportamiento del agua en el ciclo hidrológico, es decir, su estado (*nieve, hielo, vapor o agua líquida*), su calidad (agua con sales o con materia orgánica), o su posición gravitatoria (Naredo, 2009: 27). La entropía del agua empieza a partir de los ciclos hidrológicos, en el que la luz solar actúa como actor fundamental para que fluya el agua como un “campo de gradientes de potencia”⁸, desde que esta aparece en forma de precipitación, hasta que llega al mar, donde alcanza su máximo nivel de entropía. En este punto la radiación solar mueve a todo el ciclo hidrológico revirtiendo inclusive a la misma entropía del agua.

Esta inversión natural producto de la radiación solar permite mantener todos los factores ecosistémico del agua de una manera equilibrada; sin embargo, cuando el daño ocasionado por las actividades humanas excede los límites de asimilación natural, y se pone al reciclaje o tratamientos hídricos como mecanismos de reversión de los procesos metabólicos, hay que considerar y añadir que esto tiene un costo energético, como se dijo anteriormente ningún reciclado es perfecto; detrás de todo proceso metabólico se encuentra partícipe la entropía como la *ley límite* de los recursos.

1.3 Los flujos de materiales en Ecuador y su relación con el agua

Los estudios de metabolismo hídricos han sido prácticamente nulos, cuando se trata de cuantificar los flujos hídricos hacia la economía, lo que se encuentra son estudios relacionados a los flujos de materiales que el país exporta hacia países más industrializados. Antes de dar paso a la importancia que tiene el estudio del agua junto con el de materiales, es necesario dar una pequeña introducción referente al expansivo comercio desigual que tienen los países periféricos con los céntricos.

La crítica a este sistema se profundizó con el análisis que hiciera Prebisch (1950) y Singer (1950) al mencionar que los países de la *periferia* (los pobres) salen perdiendo en el tiempo con un modelo de libre comercio, a diferencia de los países del *centro* (los ricos). A partir de estos hallazgos de la escuela estructuralista, se dio paso al desarrollo de otro tipo de conceptos como el “comercio ecológicamente desigual” que describió Bunker (1985) a los desequilibrios que existe en términos de balanza física con los países de la *periferia* hacia el *centro*. Generalmente, los países periféricos tienden a

⁸ Este campo de “gradientes de potencia” se divide en potencia física asociada al agua, relacionada con su posición en altitud, es decir, la que permite mover al agua por gravedad; y potencia química o capacidad de dilución, relacionada al contenido en sales y presencia de contaminantes orgánicos o metales pesados, es la encargada de hacerle útil al agua para abastecimiento y riego (Naredo, 2009: 27).

exportar productos primarios, y lo que se evidencia es que a pesar que la cantidad de materiales es superior en términos de toneladas de la que exportan los países céntricos hacia los países periféricos, se obtiene un déficit en balanza física y; además, un déficit en la balanza comercial. A más de esto, los países industrializados venden a precios más caros, a costa de los precios más baratos de las economías emergentes. Las implicaciones de esto han sido que economías como las latinoamericanas se endeuden en mayor medida y adquieran mayores pasivos ambientales producto de la extracción desmedida de recursos primarios.

En Ecuador, se han realizado interesantes investigaciones que muestran el comercio ecológicamente desigual, a través de los flujos de materiales. Uno de los trabajos pioneros en el país fue realizado por Moncada (2005) sobre los "flujos de materiales" en el sector florícola, destacando particularmente la importancia que tienen los recursos hídricos para la producción; ya que este sector es un demandante constante de agua y a su vez un gestor de conflictos entre campesinos y florícolas por la apropiación de agua y su posterior contaminación. El estudio refleja "una alta inequidad en su uso, no solo por la cantidad consumida, sino porque en términos de precio, no existe diferencia respecto a lo que pagan los pequeños productores [...] por un consumo de agua bastante más reducido" (Moncada, 2005: 50). Sin embargo, el análisis considera de una manera muy trivial y aislada a los flujos hídricos, pues solamente refleja el consumo de agua en los flujos de entradas, y en los flujos de salida, sin tomar en cuenta a los residuos hídricos que las actividades florícolas generan.

A partir de la investigación de Moncada (2005), se empiezan a realizar estudios en Ecuador respecto al metabolismo socioeconómico en términos de flujos de materiales. Posteriormente, los trabajos realizados por Vallejo (2006; 2010), se evidencian interesantes aportes sobre un nuevo enfoque hacia el cálculo de los flujos de materiales y su relación con el comercio ecológicamente desigual de los países andinos de Ecuador, Colombia y Perú; además del aporte de conocer los flujos de agua "virtual" del banano (Vallejo, 2006). Otro interesante estudio sobre flujos de materiales lo realiza Ricaurte (2011) sobre la relación en términos de materiales de Ecuador con Estados Unidos, La Unión Europea y China. Sin embargo, todos estos trabajos mencionados no enfatizan en sus análisis las fases metabólicas que cumple el agua (ver gráfico 1) en cada uno de los procesos productivos de materiales.

El análisis de flujos de materiales representados en estos trabajos no toma en cuenta a los flujos de agua para la producción comercial en términos de calidad, cantidad y energía potencial. Además, los flujos ocultos del metabolismo hídrico, es decir, los materiales no usados asociados con los materiales usados, tanto domésticos como importados, que generalmente se convierte en externalidades generadas por los procesos productivos (Madrid, 2007: 27), no son analizados de una manera detallada en estos trabajos. Los nuevos estudios en torno al metabolismo hídrico deben abarcar los flujos ocultos de agua en las fases metabólicas de *apropiación* o *extracción*, lo que permitirá tener un mejor entendimiento de la participación del agua en las etapas de producción económica.

El estudio del metabolismo hídrico representa una forma análoga al metabolismo social, ya que se trata de estudiar la calidad y cantidad de agua que entra y sale del proceso económico. Es así, que nace la necesidad de incluir otros indicadores ecológicos relacionados con el agua como: “agua virtual” y “huella hídrica”; ya que permitirá ampliar el análisis del intercambio comercial en términos de volumen de agua, convirtiéndose en un interesante instrumento de política para aplicar medidas de aseguramiento hídrico en aquellos países que sufren de escasez. Por ello, los análisis de flujos de materiales deben reinventarse hacia una inclusión cuantitativa del agua en todas las etapas metabólicas, y mostrar los niveles de contaminación y pérdida de biodiversidad.

El agua es un recurso que no conoce de fronteras y que solamente sigue su propia lógica a partir de los ciclos hidrológicos. Generalmente, la caracterización que se le ha dado al agua ha sido vista como un activo que participa en las actividades económicas primarias, secundarias y terciarias, ya sea como insumos, medios de producción o bienes finales (Terán, 2007: 72). Pero el papel del agua en las sociedades es más amplio e importante que lo comercial o económico; desde una perspectiva más neoliberal la gestión de los recursos hídricos ha sido orientada hacia solucionar los problemas de suministro (oferta), sin embargo, desde una perspectiva eco-céntrica la gestión de la demanda debe ser integral para de esta manera mejorar el uso de agua.

La gestión de los recursos hídricos representa una forma institucional ya sea formal e informal sobre un recurso que en su lógica debería ser de uso y acceso universal pero que en la práctica no lo hace. Ecuador es un país caracterizado por

grandes flujos hídricos que ingresan directamente al proceso productivo y que también representan grandes cantidades de contaminantes para el medio ambiente. El siguiente capítulo se centrará en el estudio de caso de Guaranda, donde se analiza la situación de los recursos hídricos desde una perspectiva metabólica, explicando la importancia institucional para el dinamismo de la gestión del agua no solamente por el lado de la oferta sino la importancia que tiene una adecuada gestión de la demanda para alcanzar una mejor *cultura del agua*.

1.4 Conclusiones

En este capítulo se dio inicio a la temática del agua partir de la relación que existe entre la entropía y los procesos metabólicos de la sociedad. Esta visión permitió entender que los recursos tienen un límite definido y que su uso no puede ser de manera creciente; es así que el proceso económico es entrópico, es decir, que el metabolismo socioeconómico transforma productos de baja entropía en alta entropía. Se puede mencionar entonces que las sociedades humanas a medida que fueron desarrollándose, pasaron del uso de energía endosomática hacia una energía exosomática gobernada por el uso intensivo de combustibles fósiles; esto lleva a pensar que una sociedad será más sustentable en el tiempo, si sus requerimientos se asocian hacia una reducción de la energía exosomática.

A partir de esta generalización conceptual se abre el campo para el debate sobre los recursos hídricos con la definición de *metabolismo hídrico* como punto de partida. Este concepto marca un espacio importante en la manera de comprender a los recursos hídricos, pues el agua es el mayor componente del metabolismo social y, por ende, su aislamiento en la contabilización de flujos de materiales ha permitido tener una lectura errada de los procesos metabólicos en la sociedad. El agua es un recurso tangible e intangible de valor cultural, simbólico, emocional, etc., que se transforma en algo inquebrantable para muchas culturas en Ecuador y el mundo entero, y su desvalorización al considerarla únicamente como insumo para la producción mercantil, ha provocado un uso desmedido cuando en realidad cumple funciones importante como activo ecosocial. Esta polaridad abre una brecha gigante entre el verdadero sentido de “valor” que tienen los recursos hídricos en las sociedades humanas.

En este apartado también se estudió los conceptos de indicadores de “huella hídrica” y “agua virtual” que se acercan a la comprensión del metabolismo hídrico, a

través de la contabilización de los flujos agua que entran en los procesos productivos y de consumo. El plus importante en torno al agua virtual es cuando se lo relaciona con el intercambio comercial, lo que permite tener una lectura de la cantidad de agua que se encuentra contenida en un producto. Sin embargo, estos indicadores son un poco burdos al no considerar los requerimientos en cuanto a la calidad de agua en la producción, dejando de lado la importancia que tienen los ciclos hidrológicos.

A partir de las bases conceptuales de metabolismo social y su contabilización con los flujos de materiales, en Ecuador se realizaron importantes investigaciones en torno a la intensidad de materias primas que necesita la economía para su sustento. Se evidencia que existe un intercambio desigual en términos físicos con los países céntricos, donde la economía ecuatoriana cada vez aumenta su materialización. Es curioso que al observar los trabajos sobre flujos de materiales, el agua no tiene la debida importancia debido a su enorme representación en los balances físicos.

El agua al ser un elemento indispensable para la economía, no puede quedar aislado de los análisis de metabolismo, es necesario estudiarlo de manera integral enfocándose en las diversas dinámicas sociales que motivan a los diferentes usos que se le da al agua. Es necesario considerar la importancia que tienen los ciclos hidrológicos en la economía, ya es el motor de todo proceso metabólico social junto con la energía solar; y si los ciclos hidrológicos fueran alterados (cambio climático) se estaría afectando al equilibrio natural de regeneración hídrica. Podría sonar un poco exagerada y futurista esta afirmación, pero lo que se quiere transmitir es la necesidad de crear conciencia sobre el verdadero valor que representa el agua en los tres pilares de la sustentabilidad (económico, social y ambiental), comprendiendo que el recurso agua también tiene un límite y su adecuada gestión depende de la cohesión de todos los actores sociales, y es justamente hacia allí donde esta investigación va apuntar.

CAPÍTULO II

SITUACIÓN INSTITUCIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN GUARANDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FLUJO ENTRÓPICO DEL AGUA

2 Introducción

El agua es el principal recurso que permite la movilización de todas las actividades antrópicas en el planeta. Por ello, su adecuada gestión depende no solo del potencial hidrológico con el que cuenta una determinada región, sino, de las capacidades para optimizar su uso, fomentando el ahorro y la conservación del mismo. El manejo de los recursos hídricos debe realizarse de una manera integral con visión ecosistémica, priorizando el valor del agua como un activo ecosocial que cumple varias funciones en la sociedad y el ambiente.

El ciclo del agua refleja el flujo entrópico, y su importancia de mantenerla inalterable depende por un lado del retroceso del cambio climático, y por otro, de lo que se pueda hacer en el territorio a través de una gestión adecuada. Esto lograría tener ciudades más sostenibles con el propósito de mantener la diversidad y aprovechar de una manera más eficiente el suelo y todos los recursos hídricos e energéticos del ecosistema; es así que las ciudades deben dirigirse hacia promover la calidad de los servicios, generar información organizada, promover eficiencia hídrica e energética, y reducir el consumo de recursos naturales (Hall, 1989: 473).

Para realizar una adecuada gestión de los recursos hídricos en las ciudades, no basta con poseer un buen suministro de agua y saneamiento, sino que es conveniente observar la distribución espacial de las actividades sociales y económicas con el fin de conocer las características de uso y consumo que se le da al suelo. Una ciudad sostenible es aquella en la que sus habitantes y el entorno saben aprovechar sus potencialidades, manejando sus recursos y desperdicios de manera ordenada y con el menor impacto posible, para esto es necesario tener un sistema institucional sólido, con seguimiento y ejecución constante de leyes y normas que rigen en la ciudad.

En este capítulo se conocerá a más detalle la situación del agua y saneamiento de Guaranda, debido a la disponibilidad de información el periodo de estudio comprenderá entre 2008-2013. En la primera sección se explica el flujo entrópico del agua y su importancia para la ejecución de adecuadas políticas acorde a mejorar la gestión de los recursos hídricos urbanos. La segunda parte se centra en la descripción de las fases

entrópicas del agua, empezando por el diagnóstico del sistema y los factores institucionales enfatizando en la institucionalidad que tiene el país para hacer frente a la gestión del recurso hídrico. El tercer punto explica las entradas (*inputs*) como fuentes de abastecimiento, caudales de agua producida; enfatizando en el cálculo de demanda de agua para la ciudad. El cuarto punto se desarrolla en torno a las salidas (*output*) que la ciudad produce en aguas residuales, que en su mayoría son domésticas. En la parte final se realiza el cálculo del balance hídrico y de algunos indicadores de gestión de la EMAPA-G.

2.1 ¿Cuál es el flujo entrópico del agua en Guaranda?

En el anterior capítulo se tomó énfasis en tratar de explicar la importancia de la entropía para todas las actividades antrópicas del ser humano, y se llegó a relacionarla con el flujo entrópico del agua; el cual pasa por un proceso de transformación a partir de leyes físicas relacionadas con ciclo del agua, donde por medio de la energía solar, circula y abastece a todos los organismos vivos, actividades productivas, en fin a toda la vida y no vida del planeta "hasta que llega al mar, donde el agua alcanza su máxima entropía" (Naredo, 2009: 27).

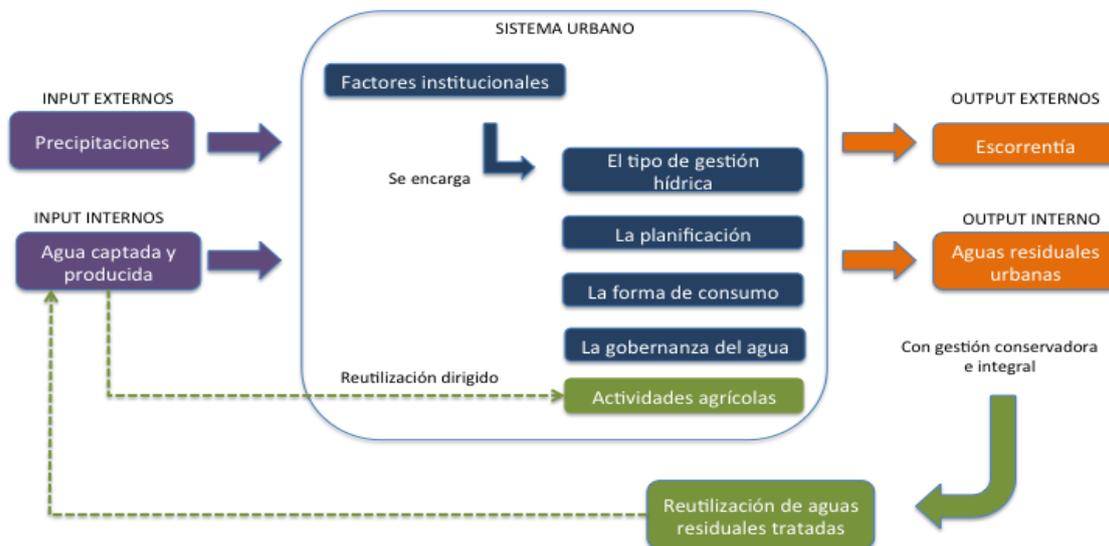
El flujo entrópico del agua para las ciudades empieza con la extracción y continúa con su transformación, distribución y consumo, finalizando en la generación de residuos que van al ambiente, y que en condiciones naturales estos desechos pueden ser revertidos de manera natural, completando el ciclo del agua. Pero cuando se sobrepasa la barrera de regeneración natural, la única fuente de revertir parcialmente el flujo entrópico del agua es mediante la incorporación de energía adicional, puesto que, el reciclado o reuso de agua o materiales al cien por ciento es imposible.

El análisis del flujo entrópico del agua permite conocer a qué actividades el recurso hídrico se destina en mayor o menor cantidad de volumen de agua se necesitaría para abastecer a los sectores demandantes, además, de las variaciones, deterioros y recuperaciones de las fuentes hídricas. El esquema del flujo entrópico del agua permite tomar acciones de política para mitigar posibles daños ambientales que se puedan estar produciendo en las fuentes de agua, y sobre todo conocer de qué manera se está distribuyendo y utilizando el recurso. Por esta razón, se calculará el balance hídrico urbano para la ciudad de Guaranda, permitiendo observar el comportamiento de las *entradas* y *salidas* de agua. Para este fin, es necesario elaborar un esquema del flujo

entrópico del agua urbano como se muestra en el gráfico 2, en el que los factores institucionales son los encargados de regular el manejo, gestión y gobernanza del agua en una ciudad. A partir de la situación institucional de una urbe, se puede mejorar o incentivar un modelo de gestión de recursos hídricos.

Cuando se tiene una institucionalidad bien dirigida, esta puede gestionar los recursos hídricos urbanos de una manera eficiente respecto a un buen suministro de servicios en agua y saneamiento, pero lo deseable sería que se lo haga de una manera integral que se oriente hacia la conservación. Por tanto, la sustentabilidad empezaría en planes de reusar las aguas residuales tratadas hacia otras actividades como la agrícola, lo que permitiría dirigir a la ciudad hacia una localidad más conservadora con estándares de preservación y cuidado ambiental. Este contexto, marca el inicio del capítulo hacia el flujo entrópico del agua en la ciudad de Guaranda, donde se tiene *inputs* y *outputs* de agua en el gran sistema de actividades que conforman una ciudad en todo su contexto metabólico.

Gráfico 2. Esquema del flujo entrópico urbano del agua



Elaborado: por el Autor.

2.1.1 Descripción teórica

Una de las características importantes para generar una adecuada gestión de los recursos hídricos en una ciudad, es conocer las características metabólicas de las actividades antrópicas de las personas. Esto es el uso que se dé a los recursos hídricos para las diferentes actividades sociales y económicas, y su repercusión para los ecosistemas. Para ello, conocer el flujo entrópico del agua es importante para saber cuánta agua entra

(input) y cuánta sale (output) del sistema de la ciudad, esto se lo puede realizar a través del cálculo de un balance hídrico urbano.

El análisis del flujo de materiales y energía es una herramienta que permite completar un rango de escalas espaciales y temporales, con el fin de evaluar el movimiento de una amplia gama de materiales y sustancias (Kenway et al., 2011: 694). Para el caso de estudio, se considera el flujo de agua que llega a la planta de tratamiento en Chaquisca. Las entradas y salidas a la ciudad a través de los ríos y arroyos naturales (flujos de agua fuera de la zona urbana) son excluidas de la frontera⁹. Esto se explica porque la adopción de un límite que es probable que tenga un valor bajo de agua almacenada, dará lugar a una mayor precisión en los balances hídricos en el futuro.

La fórmula del balance desarrollado por Kenway et al., (2011: 697) se explica en un contexto de inputs (Q_i) y outputs (Q_o):

$$\Delta S = C + D + P - (W + R_s + G + ET) \quad (1)$$

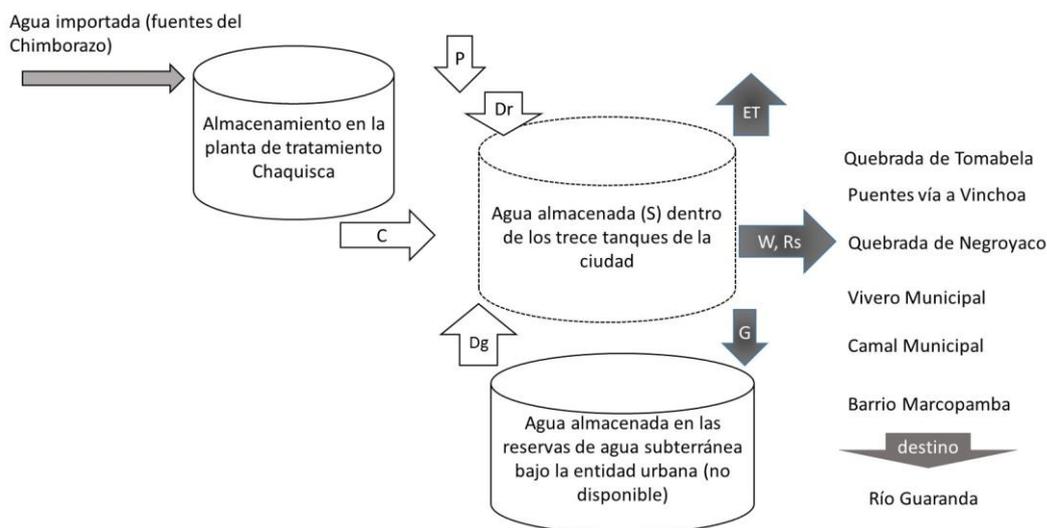
Donde:

- C: flujos de agua centralizada o importada;
- D: agua descentralizada;
 - D_G : agua descentralizada de las aguas subterráneas;
 - D_R : agua descentralizada de tanques de agua lluvia.
- P: precipitaciones (lluvia, nieve, rocío);
- W: descargas de aguas residuales;
- R_s : escorrentía de aguas pluviales;
- G: flujos hacia las aguas subterráneas;
- ET: Evapotranspiración real.

⁹ La investigación tratará de analizar un tipo de política de gestión a partir de los volúmenes de agua que son captados y distribuidos por la entidad encargada de suministrar el servicio de agua potable.

Cabe aclarar que C , D y P son los inputs y W , R_s , G y la ET son los outputs. Para el caso de Guaranda el agua almacenada incluye el agua total producida y las precipitaciones; para el caso de las otras variables no se encontró información.

Gráfico 3. Esquema informativo del balance de agua en Guaranda



D_R = descentralización del agua (tanques de agua lluvia); P = precipitación; ET = evapotranspiración; C = centralización del agua; W = aguas residuales; R_s = escorrentía de aguas pluviales; D_G = descentralización del agua desde aguas subterráneas; G = flujos hacia aguas subterráneas.

Fuente: Kenway et al., (2011: 698), adaptado por el Autor.

A este esquema también se le podría incluir alguna cantidad de agua que entre o salga de las ciudades en forma de productos, como los alimentos, bebidas. Este volumen de agua no debería confundirse con un concepto mucho más grande como el “agua virtual” que es el agua necesaria para producir un producto o servicio (Kenway et al., 2011: 697). Solo la cantidad real de agua en el producto (moléculas de H_2O) está incluido en un balance de masas de agua. El cálculo de agua virtual no se incluirá en este trabajo solamente es de carácter informativo. El cálculo del balance hídrico urbano se presenta en la última sección de éste capítulo, a continuación se describe el contexto institucional de Guaranda.

2.2 Diagnóstico del Sistema: Guaranda

El cantón Guaranda con su capital del mismo nombre y de la provincia Bolívar, se encuentra ubicada en la Hoya del Chimbo, conformada por tres parroquias urbanas: *Ángel Polibio Chávez*, *Gabriel Ignacio Veintimilla*, *Guanujo*; que forman el casco urbano de Guaranda. Además, consta de ocho parroquias rurales: *Salinas*, *Simiátug*, *Facundo Vela*, *Julio Moreno*, *Santa Fe*, *San Lorenzo*, *San Luis de Pambil*, *San Simón*.

La población del cantón según datos del INEC (2010) es de 91,877 personas, distribuidas en la zona rural con 68.003 personas, y en la zona urbana con 23.874 personas; lo que quiere decir que el 74% de la población vive en el sector rural y el 26% vive en el sector urbano.

La ciudad presenta un relieve accidentado debido a la "Cordillera Occidental de Los Andes" y el ramal de la "Cordillera de Chimbo" que tiene pequeños valles en *Guanujo*, *Guaranda* y *San Simón*. El caudal hídrico de la ciudad se origina en los deshielos del Chimborazo, en el sector de el Arenal, donde el 90% de las aguas de los deshielos va hacia el oriente y el 10% restante al occidente, alimentando al flujo del río Chimbo en su mayoría, por dos afluentes principales: el *Salinas* y el *Guaranda*, que forman una de las principales fuentes hidrológicas del país, la cuenca del río Guayas (GAD-Guaranda, 2011: 7, 15).

Este sector del país a pesar de contar con un importante potencial hídrico que nutre a muchas actividades productivas río abajo, en la cuenca del Guayas, no ha podido superar problemas que debían estar resueltos en años anteriores como es el acceso a agua potable, el riego tanto a nivel rural como urbano, problemas de contaminación en los ríos producto de desechos domésticos e industriales de algunas fábricas de la parroquia Salinas. Cabe mencionar que la falta de tratamiento a las aguas servidas en la ciudad, produce daños a la población y biodiversidad del lugar, lo se entiende como una ciudad insustentable en el manejo hídrico.

Una de las principales amenazas para mejorar la sustentabilidad del recurso hídrico en la ciudad, se originan en las zonas periféricas y en los altos páramos debido a la expansión de la frontera agrícola, pastoreo extensivo e intensivo¹⁰, a la quema de pajonales y siembra de árboles exóticos como pinos y eucaliptos, cuya característica es absorber el agua en grandes cantidades provocando erosión en los suelos. Toda esta falta de conservación se da en una zona protegida que forma parte de la Reserva Faunística del Chimborazo.

Esto podría acelerar el proceso de escasez hídrica ocasionando que en algunas épocas del año se incremente el déficit hídrico en la ciudad y sus alrededores,

¹⁰ Este pastoreo proviene de ovejas y ganado vacuno que contribuyen a deteriorar el suelo y, a diferencia de los camélidos poseen una estructura de patas que dañan la vegetación y remueve la superficie del suelo, por ser especies exóticas.

especialmente en verano (entre 5 a 25 mm de precipitaciones), donde existe un incremento de la demanda de riego, uso agropecuario, agua para el consumo, entre otras actividades (GAD-Guaranda, 2011: 42).

La importancia que tiene el agua para los diferentes usos y actividades humanas es fundamental, y su sustentabilidad depende mucho de cómo se gestione desde la parte institucional que es lo que se presentará en la siguiente sección.

2.3 Factores institucionales

La Constitución del Ecuador es el principal instrumento institucional para gestionar el agua como un recurso que cumple diversas funciones en la sociedad y el ambiente, en el Art. 12. se menciona que "el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. [...] constituye un patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida" (*Constitución del Ecuador*, 2008: 24). Además, en el Art. 411. "el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos [...]. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua" (*Constitución del Ecuador*, 2008: 182).

Se entiende entonces que el agua se encuentra resguardado por una base legítima y soberana que es la Constitución del Ecuador. Sin embargo, esto no garantiza su manejo sustentable, ya que son las entidades públicas las que deben trasladar ese poder legal hacia acciones que den prevalencia a su cuidado integral, una de las alternativas para ello es fortalecer la institucionalidad no sólo nacional sino local. En esta sección se enfatizará en la importancia institucional que deberán tener las entidades públicas como prestadoras de servicios en la ciudad de Guaranda.

2.3.1 Característica de las empresas públicas de agua y saneamiento

Antes de adentrarse a la problematización del agua y saneamiento de la ciudad, es necesario aclarar las diferencias que existen entre bienes y servicios públicos y privados que prestan las empresas en este ámbito, con el objetivo de entender de mejor manera la estructura de funcionamiento de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPA-G) que es la encargada de administrar y suministrar las operaciones de agua potable y saneamiento.

La teoría económica distingue dos tipos de bienes: público y privado. "Los primeros son *no exclusivos* (una vez producidos no se puede excluir a nadie de su uso) y *no rivales* (el consumo de una persona no reduce la cantidad de bienes disponibles)" (Balbo, 2003: 156); es decir, que los servicios que tiene esta categoría debería producirse pensando en la colectividad y financiarse vía impuestos. Los bienes privados se caracterizan por ser "*exclusivos* (quien no paga puede ser excluido de su consumo) y *rivales* (parte del servicio consumido por una persona no puede ser consumida por otra)" (Balbo, 2003: 156); esto quiere decir, que estos servicios deben ser producidos por el mercado y pagados por quién los usa.

La EMAPA-G es la entidad pública que ofrece el servicio de agua y saneamiento actuando como un monopolio natural¹¹ con ineficiencias en el tipo actual de gestión. Por ello, "su oferta provoca externalidades que los consumidores no están dispuestos a pagar¹², comportándose como un *bien meritorio*¹³, donde los beneficios son superiores a aquellos percibidos por los consumidores y su consumo debe ser por precios y tarifas particulares" (Kessides, 1993; Balbo, 2003: 157).

Por esta razón, muchos servicios públicos y entre ellos las empresas de agua y saneamiento, recaerían en la categoría de bienes privados, "dado que quien no paga la [tarifa] puede ser excluido del consumo [de dichos servicios]" (Balbo, 2003: 157). Sin embargo, los servicios urbanos tienen carácter de bienes públicos, como las fuentes de agua¹⁴, y de *bienes meritorios*, como los servicios higiénico-sanitario que sirven para mejorar la calidad de vida de la colectividad en general. Pero también, poseen ciertas características que pueden presentar ineficiencia en el mercado, por ejemplo, la red de alcantarillado constituye un monopolio natural, y su mantenimiento o mejoramiento involucra costos altos "que la gente no está dispuesta a pagar para usar dichos servicios. Son por estos aspectos de *bienes meritorios* y de monopolio natural, junto a las

¹¹ Desde el punto de vista de los costos, es más eficiente tener una sólo empresa a tener dos; por ésta razón, es justificable que exista un monopolio natural en las empresas que son prestadoras del servicio de agua potable, el problema es cuando dicho servicio se privatiza y deja de ser una administración pública.

¹² Una planta de tratamiento de aguas residuales genera una externalidad positiva al ambiente; en cambio las aguas residuales que contienen contaminantes y desembocan en los ríos provocan externalidades.

¹³ Un *bien meritorio* se refiere a que el consumo de un bien o servicio por una persona produce un efecto social mayor al beneficio del individuo que lo consume, ni el precio ni el acceso deben ser determinados por el mercado.

¹⁴ En éste caso las fuentes de agua pueden ser interpretadas como bienes de acceso libre, sin embargo el Estado es el encargado de garantizar la soberanía y acceso de dichos recursos a toda la sociedad.

externalidades" (Batley, 2000; Balbo et al., 2003: 157), que hacen que estos servicios actúen como públicos en muchas ciudades.

Sin embargo, uno de los problemas que han ocasionado las empresas públicas es que la gestión de los servicios no sea la más óptima, promoviendo en algunas municipalidades de la región latinoamericana las privatizaciones de los servicios de agua y saneamiento, con tarifas muy elevadas, convirtiéndose en una solución con pérdidas sociales. Pero también hay que recalcar que existen ejemplos de gestión eficientes como la EPMAPS de Quito y ETAPA de Cuenca, ésta última cuenta con sistema de tratamiento de aguas residuales (la única en el país); en Quito se empezó a construir el sistema de alcantarillado de aguas lluvias y plantas de tratamiento de aguas servidas. Además, se cuenta con departamentos técnicos tanto para agua potable como para saneamiento; demostrado orden institucional en la separación de funciones y actividades.

La EMAPA-G ha pasado por muchos inconvenientes institucionales como la falta de coordinación con el Municipio de Guaranda, viéndola como un departamento más y no como una empresa pública, pues no se evidencia un trabajo de gestión para conseguir recursos económicos y humanos que permitan un adecuado desenvolvimiento. La falta de comunicación con las entidades estatales y provinciales (SENAGUA, Consejo Provincial, Junta de aguas, Junta de riego) que tienen en principio el manejo y cuidado de las fuentes de agua, ha provocado que cada entidad mantenga objetivos por separado, a esto se suma la falta de reglamentos internos que no desarrolla la empresa y el incumplimiento de los planes anuales, viéndose reflejado en la poca inversión que ha venido realizando en los últimos años. Para observar más a fondo la problemática de la gestión es necesario puntualizar la descripción de la ciudad y describir por separado la situación del agua potable y saneamiento de la ciudad.

2.3.2 Problemática en el servicio de agua potable

La gestión de la EMAPA-G comprende las parroquias urbanas de *Guanujo*, *Ángel Polibio Chávez*, *Gabriel Ignacio Veintimilla*, las parroquias rurales del cantón están administradas por las Juntas de Agua. La base legal para de la EMAPA-G se ampara en el "Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización" (COOTAD), que en su art. 55 del literal d) indica que es responsabilidad de los GAD "prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas

residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental [...]” (COOTAD, 2011: 41) en las parroquias urbanas. Sin embargo, existen conflictos institucionales entre la EMAPA-G y la Junta de Aguas de Guanujo que aún sigue en funcionamiento, donde debería entrar a operar la empresa pública pero que no ha sido posible por impedimentos de los habitantes y representantes de la junta, incumpliendo con la normativa del COOTAD.

Esta descoordinación y oposición constante, evidencia la falta de compromiso institucional por parte del Municipio de Guaranda y de la EMAPA-G para hacer acatar las leyes y empezar a operar en Guanujo. Lo que ha provocado que el manejo del recurso agua de esta localidad presente varios problemas como: técnicas inapropiadas de potabilización, personal sin capacitación, facturación con valores sobre estimados¹⁵, ausencia de un laboratorio para muestras de análisis, medidores con 50 años de uso (lo que hace que la facturación no tenga sustento técnico); este prejuicio institucional y técnico provoca efectos negativos en la población que recibe agua clorada y no potable.

Todos estos problemas han hecho que los pobladores de Guanujo no cuenten con un sistema óptimo de potabilización de agua segura para el consumo humano. Esta gestión poco profesional, ha ocasionado que la continuidad del servicio sobre todo en verano no sea constante y se provoquen cortes de agua en las noches. Además, con la entrada de la EMAPA-G a Guanujo se esperaba captar a 1300 usuarios, que implicaría mayores rentas para la empresa que deberían ser retribuidas hacia un servicio de calidad segura para la población.

2.3.3 Problema institucional en saneamiento

La EMAPA-G cuenta con un Plan Maestro de Alcantarillado con el fin de minimizar los impactos ambientales producidos por las descargas de aguas residuales sin tratamiento al río Guaranda; pero dicho plan no ha sido ejecutado hasta la fecha. A esto se suma que la empresa no cuenta con manuales de operación, estudios de impacto ambiental, planes de manejo ambiental, siendo evidente la falta de soluciones para mitigar la contaminación por parte de las aguas negras que va directamente al río Guaranda.

Como se mencionó anteriormente, no existe trabajo coordinado entre la EMAPA-G y otras instituciones públicas, pues no se evidencia actividades de

¹⁵ La tarifa que impone la Junta de Agua de Guanujo es de USD. 2 por cada 10m³ consumidos, en cambio la tarifa doméstica de la EMAPA-G es de USD. 0,12 por cada m³ hasta los 10 m³.

mitigación, control en aspectos ambientales, e incluso la búsqueda de un plan para realizar autogestión con el propósito de ejecutar el Plan Maestro de Alcantarillado que fue elaborado en 2007. El incumplimiento del Plan Operativo Anual 2013, referente a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona norte de la ciudad (Contraloría General del Estado, 2013: 1). Todos estos inconvenientes que presenta la empresa, refleja la falta de liderazgo institucional para hacer frente a los nuevos retos que se van ir presentando en la ciudad. La actual gestión se desarrolla con poca planificación para atender los problemas actuales de la ciudad. En este sentido, la sustentabilidad del agua debe convertirse en el principio de la empresa desde una gestión integral pero con visión de conservación y acorde a las nuevas necesidades de la población.

Ante los problemas presentados tanto en el agua potable como en el saneamiento, es necesario que exista un marco regulatorio como instrumento prioritario para la gestión del agua, por ello la creación de "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua" aprobada que se convierte en una vía institucional aplicable y necesaria en el país.

2.3.4 Discusión de la "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua"

La "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua" aprobado por la Asamblea Nacional del Ecuador, en sustitución a la *Ley de Aguas* de 1972, constituye un importante avance institucional para el manejo del agua en los diversos ecosistemas del país.

Esta nueva ley tiene varios puntos interesantes respecto a ejecutar una nueva visión de gestión hídrica integral con su respectiva regulación que era indispensable para controlar algunos factores como: usos del agua, control de la contaminación, concesiones, robo del recurso, pérdidas de agua, etc. Además, la Ley establece la importancia del agua como recurso estratégico de la nación para las diversas actividades productivas, ambientales, religiosas, sociales. A continuación se expone un cuadro referente a los temas más importantes de acuerdo a los intereses de ésta investigación:

Tabla 1. Puntos importantes de la "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua"

Artículo	Descripción
Art 12. Protección, recuperación y conservación de fuentes	"[...] La Autoridad Única del Agua, los Gobiernos Autónomos Descentralizados [...] donde se encuentren fuentes de agua, serán responsables de su manejo sustentable e integrado así como de la protección y conservación de dichas fuentes" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 6).
Art 37. Servicios públicos básicos	"Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales, y derivados del proceso de depuración" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 12). "Alcantarillado pluvial: recolección, conducción y disposición final de aguas lluvia" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 12). "El alcantarillado pluvial y el sanitario constituyen sistemas independientes sin interconexión posible" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 12).
Art 59. Cantidad vital y tarifa mínima	"La Autoridad Única del Agua establecerá [...] la cantidad vital de agua por persona, para satisfacer sus necesidades básicas y de uso doméstico [...]" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 15). "La cantidad vital del agua procesada por persona tendrá una tarifa que garantice la sostenibilidad de la provisión del servicio" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 15).
Art 64. Conservación del agua	En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a: "a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga [...]" "b) El mantenimiento del caudal ecológico [...]" "c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico," "d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y," "e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por [...] la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos." <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 16).
Art 65. Gestión integrada del agua	"Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación [...]" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 16).
Art 79. Objetivos de preservación y conservación del agua	"[...] b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad," "[...] e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósitos de desechos sólidos, líquidos y gaseosos [...]" "g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 18).
Art 80. Vertidos: prohibiciones y control	"[...] Quede prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados [...]" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 18).

	"Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas [...]" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 19).
Art 83. Políticas en relación con el agua	"[...] a) Fortalecer el manejo sustentable de las fuentes de agua y ecosistemas relacionados con el ciclo del agua" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 19). "[...] c) Establecer políticas y medidas que limiten el avance de la frontera agrícola en áreas de protección hídrica" <i>Registro Oficial del Ecuador</i> , (2014: 19).

Fuente: *Registro Oficial del Ecuador*, (2014, Nro. 305, Págs. 43).

Elaborado: por el Autor.

Esta tabla muestra un resumen de los artículos más importantes de acuerdo a los intereses de esta investigación. Existen algunas observaciones respecto a la Ley oficial aprobada en 2014 y al *Proyecto de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua* (2010: 32) en el Art. 59. literal f) y Art. 61. literal h), donde se trata el tema del tratamiento de aguas servidas para su reutilización; al no ser incluido estos artículos en la Ley original se procede a un retroceso de nuevas prácticas que mejoran la sustentabilidad hídrica. En la Ley aprobada solamente se menciona a breves rasgos en el Art. 11. referente a la sección de infraestructura hidráulica, sobre el tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas, pero pierde fuerza institucional al no existir un artículo referente a estas nuevas alternativas. Por lo que sería pertinente que la Autoridad Única del Agua trate de reorientar nuevas formas de ejecutar políticas hídricas alternativas.

En términos generales, la Ley se adecúa a los tiempos modernos, demostrando la importancia de crear un órgano rector que administre y regule el funcionamiento y manejo que dan las instituciones formales e informales referente al uso y aprovechamiento del recurso hídrico en todas sus funciones y actividades. Sin embargo, existe gran polémica sobre el uso del agua para la explotación minera, lo cual es un punto debatible de la Ley, ya que la problemática del agua no solo gira alrededor de las aguas residuales que se plantea en esta investigación, sino que hay elementos más trascendentales como la contaminación de toda la red hidrológica por parte de diversas actividades productivas, como la minería, agricultura, ganadería, etc. El control de estas actividades respecto al agua es el punto trascendental para asegurar la sustentabilidad hídrica sin contaminación.

2.3.5 Capacidad institucional para la gestión del agua en Guaranda

El cuidado del agua se establece en la Constitución del Ecuador como se explicó anteriormente, la promulgación de artículos referente a la importancia de las áreas protegidas que menciona el Art. 405. "El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. [...]"; además el Art. 406. dice que "El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales [...]"; lo que refleja el compromiso legal para el cuidado de las áreas sensibles (*Constitución del Ecuador*, 2008: 99)

Se puede mencionar en base a los antecedentes sobre el cuidado ambiental, la capacidad institucional de la ciudad de Guaranda en beneficio de la protección del agua se presenta como caótica. La entidad encargada de administrar el recurso se ha limitado únicamente a proveer el suministro de agua potable y el servicio de alcantarillado. En los reglamentos de la empresa, no se evidencia que exista planes de acción que aseguren la disponibilidad y el destino de los recursos hídricos de la urbe; es más, los reglamentos se basan en tareas administrativas para el funcionamiento de la empresa, abandonando la parte ecosistémica como el cuidado de las fuentes de agua, al tratamiento de aguas residuales, la mitigación de la pérdidas de agua en la red de distribución, normativas para mejorar la eficiencia administrativa, etc.

Esta descompensación institucional, se visualiza en los reglamentos, normas u ordenanzas que han sido emitidas. La EMAPA-G no cuenta con un departamento ambiental que regule y supervise el manejo de las aguas residuales con el propósito de mitigar las afectaciones ambientales que se puedan suscitar, ya que la ciudad no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, no se ejecuta planes de cuidado de las fuentes hídricas de captación del líquido vital, pues la zona de el Arenal es un ecosistema muy vulnerable a las actividades humanas que se generan, como la expansión de la frontera agropecuaria y agrícola, la quema de pastizales, la introducción de especies no autóctonas de la zona (pino, eucaliptos), control de conexiones clandestinas en la red de captación, planes de mitigación contra catástrofes (erupciones volcánicas, terremotos), huelgas, entre otras.

Toda esta falta de planificación institucional, hacen que el recurso hídrico sea desprotegido por falta de lineamiento vigentes y actualizados ante cualquier eventualidad. Una de las funciones administrativas de la EMAPA-G que se encuentra vigente en la ordenanza municipal sustitutiva de creación de la EMAPA-G en 2010, se especifica en el Art. 12. literal h) como facultad de la Gerencia la preparación de proyectos reglamentarios internos para poner a conocimiento del Directorio; en la misma ordenanza respecto a los objetivos de la EMAPA-G en el Art. 3. se especifica el carácter de prestador de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental. No se menciona taxativamente la preservación de las fuentes, lo que refleja un papel puramente administrativo y no propositivo en el impulso de nuevos valores hacia una gestión integral orientada a la conservación del agua.

El problema no sólo radica en la gestión de la EMAPA-G, sino que involucra a prácticamente todas las instituciones encargadas del manejo del agua, pues cada entidad trabaja por separado y no coordinadamente que sería lógico y brindaría mayores redistribuciones en ganancia social y ambiental. El Gobierno Provincial de Bolívar en este campo juega un papel clave para la conservación de las fuentes y su respectiva redistribución a través de los sistemas de riego que tiene a su cargo. Lastimosamente no existe planificación y objetivos en conjunto y el resultado es un trabajo no asociativo, cuando lo óptimo es que la gestión del agua sea integral desde las mismas instituciones con iguales metas y lineamientos en favor del manejo hídrico.

Los planes a favor de la protección de las fuentes hídricas en Guaranda se orientan a la reforestación en las áreas protegidas como páramos, bosques húmedos, etc., que está a cargo del Ministerio de Ambiente como ente encargado de la gestión ambiental. Estas medidas de alguna forma ayudan a la conservación de las fuentes, pero deben dirigirse hacia planes que controlen la conformación de actividades ganaderas, agrícolas, urbanísticas, industriales, etc., en zonas sensibles del recurso. Para ello, un plan de ordenamiento territorial debe delimitar detalladamente las áreas sensibles para poder supervisar las actividades que atentan al medio ambiente hídrico.

2.3.6 Sin base legal ¿es viable la sustentabilidad del agua en Guaranda?

Se puede mencionar que las instituciones no son creadas para ser eficientes en términos sociales, sino que son reglas formales elaboradas para aquellos grupos que tienen poder de negociación para idear nuevas normas.

Las instituciones son las reglas del juego en una sociedad o, más formalmente, son las limitaciones ideadas por el hombre que dan forma a la interacción humana. [...] La función principal de las instituciones en la sociedad es reducir la incertidumbre estableciendo una estructura estable (pero no necesariamente eficiente) de la interacción humana. (North, 1993: 13, 16).

Por el lado de las instituciones formales (leyes, reglamentos, normas, etc.), constituyen una parte importante para que la sociedad funcione adecuadamente, de acuerdo a lo establecido mediante la institucionalidad de alguna norma. Estas instituciones se relacionan directamente con el conjunto de instituciones informales, que siempre han existido (reglamentos sociales, leyes fuera de un marco legal constituido) en los diferentes contextos sociales. Para el caso del agua en Ecuador, esta informalidad institucional rige a partir de reconocer al agua como un elemento sangrado para superveniencia, convirtiéndose en una herencia de información transmitida socialmente en la cultura; tal es su importancia que la *institucionalidad formal*, a través de la ejecución de leyes reconoce la importancia del agua para sostener la vida misma del ser humano a través de las diversas actividades que se realizan.

Las instituciones no siempre solucionan los problemas de una manera eficaz, ya que “ni el Estado ni el mercado han logrado un éxito uniforme en que los individuos mantengan un uso productivo, de largo plazo, de los sistemas de recursos naturales” (Ostrom, 2011: 36). En el caso del recurso agua, las instituciones formales no han logrado manejarlo de una manera coordinada y planificada, en el que se integre los requerimientos sociales con el mínimo impacto ambiental. La gestión del agua por parte de las instituciones informales (campesinos, indígenas) en su mayoría, ha tenido mejores resultados durante mucho tiempo, esto se puede evidenciar por el apoyo comunitario para regular su acceso al agua a través de mingas, pero su uso sustentable no ha mejorado con el tiempo.

Por tanto, la creación de sistemas legales para el manejo del agua por parte del Estado, se convierte en un instrumento regulatorio que todos los actores políticos y sociales deben participar e interactuar para que establezcan las normativas y reglamentos locales, acordes a las necesidades. No puede existir, una gestión sustentable e integral del recurso hídrico sin un marco institucional que reglamente el manejo y uso del agua.

En la ciudad de Guaranda, la entidad encargada de crear y reglamentar las normas institucionales para el manejo de los recursos hídricos es la EMAPA-G. Ahora bien, desde su misma ordenanza de creación por parte del GAD de Guaranda, se limitó a ser una entidad prestadora de servicios de agua, alcantarillado y saneamiento; es decir, se confina a atender el suministro del agua desde el lado de la oferta limitando el manejo del recurso por el lado de la demanda.

Se puede recalcar que el apoyo institucional es fundamental para que el agua sea manejado de la manera más justa y conservadora, si no se tienen reglas claras que reorganicen el manejo del agua, el recurso hídrico no podrá mantenerse de una manera sustentable por no existir marcos legales que normen y regulen el aprovechamiento del agua en la ciudad de Guaranda.

2.3.7 Incumplimiento de normas nacionales en Guaranda

En mayor o menor medida el incumplimiento de la Constitución del Ecuador y de las normas vigentes se da por parte de las instituciones que manejan los recursos hídricos. La ciudad de Guaranda no es la excepción, y uno de los problemas para la sustentabilidad del agua es la falta de compromiso para cumplir lo reglamentos; no se pueden exigir un nuevo marco legal si no se cumple lo que se tiene a disposición. Justamente los marcos normativos son instituciones creadas para manejar de una manera más eficiente los conflictos o situaciones creadas por la sociedad.

Guaranda podría ser categorizada como una ciudad donde el cumplimiento legal es parcial respecto al manejo y cuidado del agua, esto se explica por el incumplimiento de normas nacionales vigentes; por ejemplo, en la "Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua", TULAS (2003), libro VI, menciona: "se prohíbe a los talleres mecánicos, vulcanizadoras, restaurantes y hoteles, la descarga al sistema de alcantarillado de residuos líquidos no tratados que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc.". La misma norma exige a las entidades públicas y privadas el tratamiento de aguas residuales acorde a los parámetros establecidos. Sin embargo, estas disposiciones no solo no se cumple en Guaranda, sino en el resto del país, en parte, a que la creación de normativas debe estar ligadas a un presupuesto para poderlas ejecutar.

La falta de generación de recursos financieros propios en Guaranda para generar infraestructura o adquirir tecnología necesaria para el cumplimiento de normas o leyes en el ámbito de recursos hídricos, ha repercutido en la falta de un mejor manejo y protección ambiental de las fuentes hídricas, sin establecer parámetros de sustentabilidad desde su uso inicial hasta su desuso final.

En este aspecto, la contaminación del agua se convierte en un desafío social e institucional para poder de cierta forma mitigar este efecto. En Guaranda y en otras partes del país, los factores que ocasionan la contaminación hídrica pueden ser diversos y estar anexados en muchos casos al abandono institucional local, reflejando un liderazgo débil para el cumplimiento de normas y leyes ya establecidas. La falta de coordinación para la creación de nuevas normativas que controlen los niveles de la contaminación causada por las diversas actividades antropogénicas de la urbe, agravan aún más la situación. El liderazgo institucional es la clave para una mejor gestión hídrica orientada a la sustentabilidad.

2.4 ENTRADAS

2.4.1 Características del sistema agua en Guaranda

Las fuentes hídricas de la ciudad provienen del sector el Arenal, de las estribaciones del Chimborazo, con un sistema de captación a gravedad. Esta obra fue diseñada por el Sistema Cooperativo Interamericano de Salud Pública en 1959, y ejecutada por el "Instituto Ecuatoriano de Obras Públicas Sanitarias" (IEOS) en el periodo 1966-1968. Hasta el año 1992 el sistema de suministro de agua estuvo bajo la dirección del IEOS Bolívar, que posteriormente pasó a formar parte de la administración del Municipio de Guaranda (EMAPA-Ga, 2009a: 4). En el año 2002 mediante Ordenanza municipal se crea la "Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda" (EMAPA-G), entrando en funcionamiento en 2003 con autonomía administrativa y económica. La Empresa se encarga del "desarrollo, operación y mantenimiento de los sistemas para la producción, distribución y comercialización de agua potable, la recolección de aguas lluvias y tratamiento de aguas servidas" *Registro Oficial del Ecuador* (2008, Nro. 433, 33).

Cabe mencionar que recientemente se realizó el cambio de la infraestructura de la tubería que conectaba a las fuentes de captación con la planta de tratamiento cuyo material era de asbesto cemento que estuvo en operación desde la construcción del

mismo sistema de agua, por una tubería de PVC. Esto se concretó por el Plan Maestro de Agua Potable¹⁶, con trabajos en la captación, conducción, almacenamiento y distribución. La infraestructura del sistema de agua potable es vulnerable a diversos fenómenos y circunstancias como: problemas de erosión, deslizamientos de tierra, expansión de la frontera agrícola, problemas sociales (huelgas indígenas), entre otros. Esta vulnerabilidad se da en la zona que recorre la tubería, desde los 4.028 msnm que es la parte de captación hasta los 2.830 msnm que es la planta de tratamiento de Chaquisca-Guanujo (Universidad Estatal de Bolívar, 2013: 71).

2.4.2 Calidad de las fuentes y agua producida

Las fuentes de abastecimiento para el sistema agua como se dijo anteriormente son captadas en el sector el Arenal, con una captación de agua cruda (sin procesar) de 140 l/seg en épocas de invierno y 100 l/seg en épocas de verano (EMAPA-G, 2008a). Relacionándolo con los datos entregados por la EMAPA-G, sobre el agua producida, se evidencia que existe una pérdida del 20% en el trayecto hasta la llegar a la planta de tratamiento. Además, existe una sobre producción de agua en la planta de tratamiento, pues la oferta sobrepasa a la demanda real, esto se demostrará en el capítulo III en la aplicación del análisis multicriterio.

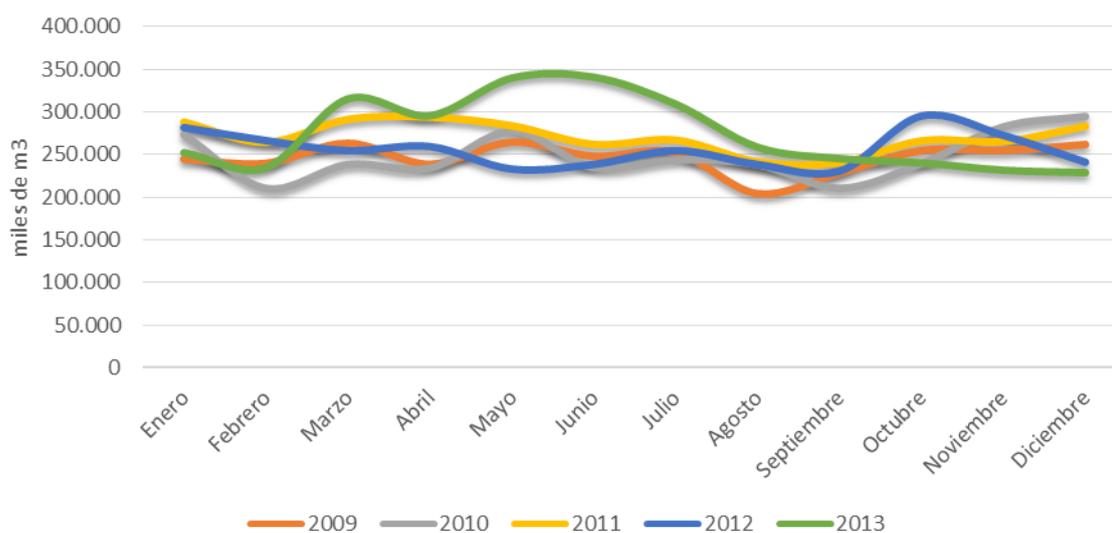
Hay que recalcar que la calidad del agua cruda de las fuentes de abastecimiento es buena, ya que según exámenes de laboratorio se encuentra dentro de los rangos de las normas de calidad; sin embargo, esta agua es corrosiva, posiblemente debido a la presencia de CO₂, aspecto que se corrige en la planta de tratamiento. Respecto a calidad bacteriológica existe ausencia de E. Coli por lo que se descarta contaminación por heces fecales (CORCONSUL CIA. LTDA, 2007a: 14).

Estos datos son comprobados por técnicos de la EMAPA-G en la planta de tratamiento de Chaquisca que cumple los procesos de aireación, sedimentación, desinfección a través de una mezcla heterogénea de cloro gas, en cuyo compartimentos el agua permanece 30 minutos para posteriormente ser trasladada a los tanques de reserva, por lo que el agua que llega cruda es de buena calidad y necesita de poco tratamiento.

¹⁶ Según técnicos de la EMAPA-G el Plan Maestro de Agua Potable ha beneficiado a 30 mil personas que conforman el casco urbano de Guaranda en su primera fase y seguirá expandiéndose hasta todo el cantón. Tuvo una inversión de 5'278.074.02 millones de dólares con un tiempo de vida útil de 25 años (GAD-Guaranda, 2013: 22).

Referente al agua producida en la planta de tratamiento, a partir del año 2013, empieza a entrar en funcionamiento el Plan Maestro de Agua Potable y junto a ello se evidencia una mayor captación por parte de la empresa, incluso en las épocas de verano. En términos generales la producción de agua se ha mantenido inalterable, pero existe el riesgo constante de aquellas actividades realizadas por el hombre como pastoreo o incremento de la frontera agrícola.

Gráfico 4. Agua producida



Fuente: EMAPA-G, (2009-2013)

Elaborado: por el Autor.

2.4.3 Comportamiento de la demanda de agua en Guaranda

Aunque actualmente el porcentaje de habitantes en Guaranda en la zona urbana es más bajo que en el área rural, se estima que en los próximos años la tendencia tienda a incrementar el número de personas que vivirán en la ciudad, todo esto dependerá del impulso económico que se genere en la urbe. Este crecimiento demográfico que podría producirse, conllevaría a problemas por la expansión y cobertura de la red de servicios e infraestructura con la que cuenta la empresa en lo que respecta al almacenamiento de agua.

Los demandantes conectados a la red pública de agua se dividen en tres sectores importantes: residencial, productivo, sector público. De los cuales el sector residencial abarca el 88% de abonados que mantiene la EMAPA-G, seguido del sector productivo-

comercial con el 10%, y el sector oficial con el 2%¹⁷. La participación del sector productivo es baja debido a que no existen industrias en la ciudad, y el consumo se destina a pequeños y medianos negocios comerciales. En el estudio elaborado por CORCONSUL CIA. LTDA (2007a: 26) para el "Plan Maestro de Agua Potable de Guaranda", se estimó que la dotación básica (DB) en la ciudad (sólo consumo doméstico) es de 178 l/hab*día y dotación media futura (DMF) para consumo doméstico es de 211 l/hab*día¹⁸.

Hay que mencionar que cuando se revisaron los datos de dotación y proyecciones poblacionales de dicho estudio, estos presentaban exageraciones en sus cálculos, por ejemplo, en la ciudad de Quito la dotación básica por habitante es de 170 l/hab*día aproximadamente, y hay que considerar que el consumo de agua depende de muchos factores económicos y sociales, y la ciudad de Guaranda no podría presentar un consumo mayor a la de ciudades con mayores necesidades y mejor desarrollo. Respecto a la población, la consultoría fue realizada en el año 2007 y las proyecciones que presentaban sobre esta, era que en el año 2010 Guaranda tendría 26.741 habitantes, cuando los datos del último censo del INEC 2010 reflejan otra realidad.

Para la estimación del crecimiento de la demanda y consumo per cápita de agua de Guaranda se utilizaron datos oficiales, hay que recalcar que el crecimiento poblacional y urbanístico podría causar problemas para una adecuada dotación de agua, para ello se calcula comportamiento futuro de la demanda, que se lo realizará a partir del crecimiento demográfico de la ciudad, usando como línea base el año 2010 debido a los datos de la última "Encuesta de Población y Vivienda 2010" realizado por el INEC.

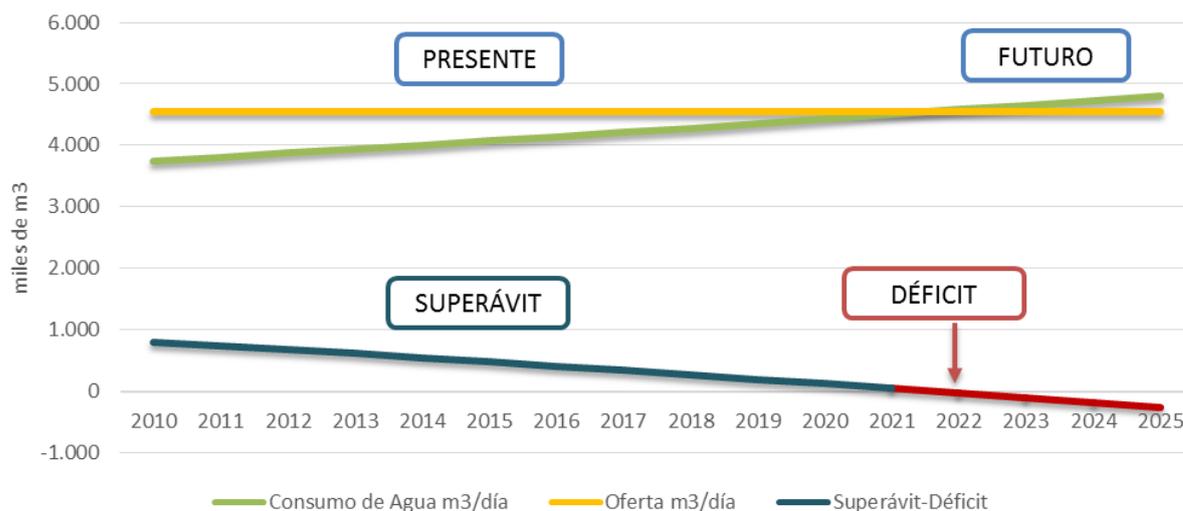
Hay que considerar que Guaranda tiene un crecimiento poblacional anual estimado del 1,65% y un consumo promedio de 157 l/hab*día. Además, el casco urbano cuenta con 13 tanques de almacenamiento para la distribución del líquido en diferentes sectores de la ciudad, con una capacidad de almacenaje 4.553 m³ que actuaría como la oferta instalada en la ciudad. En la actualidad la capacidad de almacenamiento en los tanques de la planta de tratamiento es de 2.600 m³, si se considera que la ciudad cuenta con 6.000 usuarios suscritos al servicio.

¹⁷ Los datos corresponden a cálculos propios, elaborados en a base a información proporcionada por el Departamento Comercial de la EMAPA-G del año 2013.

¹⁸ La dotación media futura (DMF) se calcula multiplicando la dotación básica con un factor de mayoración donde se incluyen todos los consumos: comercial-institucional 16% e industrial con el 2%, así: DMF= 1,18*178,5= 211 l/hab*día

En el gráfico 5 se observa que en la actualidad la capacidad de almacenaje es suficiente, sin embargo, conforme la población vaya creciendo se irá incrementando el consumo hídrico, por lo que se evidencia que a partir del año 2022 la capacidad de provisión de agua sería insuficiente, producto de la capacidad instalada que deberá ser solucionada para prevenir inconvenientes en la dotación del líquido vital.

Gráfico 5. Comportamiento futuro de la demanda de agua



Fuente: INEC (2010), GAD-Guaranda (2011)
Elaborado: por el Autor.

Una posible segunda etapa del Plan Maestro de Agua Potable, debería enfocarse a más de buscar nuevas fuentes de suministro y de mejoramiento de conexiones obsoletas para evitar pérdidas importantes de agua. Se debería 1) priorizar en aumentar la capacidad instalada de los actuales reservorios de agua que cuenta la ciudad, y 2) realizar un plan contingente para disminuir las pérdidas de agua en la red de distribución, lo que se abordará más adelante en el capítulo III. Todo esto busca evitar posibles déficits hídricos sobretodo en épocas de verano, y anticiparse ante un eventual aumento poblacional urbanístico que Guaranda va ir experimentando en los próximos años.

2.5 SALIDAS

2.5.1 Descripción del problema de saneamiento

El alcantarillado de la ciudad es mixto tanto para agua lluvia como de aguas servidas, que comprende 90% de hormigón armado y 10% de PVC construido a partir de 1965. El alcantarillado no cuenta con vías para el desfogue de aguas lluvias, lo que crea problemas especialmente en invierno, ya que las aguas servidas se mezclan con las de

lluvia, causando desbordamientos cuando se taponan las alcantarillas. Afortunadamente, la empresa ya cuenta con un vehículo hidrosuccionador (adquirido en el año 2013) que facilita las tareas de limpieza del sistema de alcantarillado, anteriormente se recurría a otras empresas públicas para que realicen los trabajos de limpieza en los ductos de la ciudad.

Además, hay que recalcar que el sistema existente de alcantarillado en su mayoría no ha contado con estudios técnicos que den soporte para un buen funcionamiento, lo que ha provocado problemas en las redes ya sea por insuficiencia de capacidad de transporte de aguas servidas y de aguas lluvias o por instalaciones inadecuadas.

Según el último Censo del INEC (2010), en el Cantón de Guaranda (sector urbano y rural) el 36,9% de las viviendas de la urbe cuenta con acceso a servicios de saneamiento, es decir, que estas viviendas tienen abastecimiento de agua entubada por la red pública dentro de la vivienda, cuentan con medios de eliminación de excretas conectado a la red pública de alcantarillado, disponen de medios de eliminación de basura. En cambio las viviendas conectadas a la red pública de alcantarillado representan el 45,5%, y el 44,4% de las viviendas que tiene acceso a la red pública de agua.

Ante estos antecedentes el modelo de saneamiento que presenta la ciudad es grave, pues no existe tratamiento de aguas residuales, siendo arrojadas directamente a las quebradas de Tomabela, Negroyaco y río Guaranda. La EMAPA-G en este ámbito no ha realizado la asignación económica suficiente para mitigar este daño ambiental, a esto se suma la falta de registros estadísticos de los efluentes y caudales generados por la frecuencia de descarga y las cargas contaminantes con análisis de laboratorio (Contraloría General del Estado, 2013: 3), lo que refleja la inexistencia de datos y un grave grado de contaminación por aguas servidas, poniendo en riesgo la sustentabilidad del recurso.

A esta crisis técnica-ambiental, se suma la falta de proyectos referente a reglamentos internos generales y específicos, que deben ser desarrollados por la Gerencia para conocimiento del Directorio según indica el literal h) del Art. 12. de la Ordenanza de creación de la empresa en su Reformatoria del 3 de septiembre de 2010 *Registro Oficial del Ecuador* (2010, Nro. 69, 15). Además, el Directorio de la Empresa

no ha cumplido con el literal r) del Art. 8. de la misma ordenanza, al no aprobar o expedir los reglamentos internos generales o específicos requeridos para el desenvolvimiento administrativo de la empresa. Esto evidencia que existe falta de coordinación institucional en beneficio de la mejora de la gestión del saneamiento, pues la EMAPA-G no cuenta con una dirección de gestión ambiental y saneamiento, ni con especialistas en esta rama, lo cual hace más complicado la evaluaciones de impactos ambientales en todos los procesos que desarrolla y tiene a su cargo la empresa.

2.5.2 Descargas de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente, la empresa no elabora mediciones periódicas de los caudales de descarga de las aguas residuales en la ciudad, por lo que se realiza mediante aproximaciones. Las descargas de las aguas contaminadas se efectúa en tres zonas de la urbe: en las quebradas de Tomabela y Negroyaco que desembocan al río Guaranda, con un total de 4.795.200 m³/día aproximadamente según el informe de Contraloría realizado a la EMAPA-G en 2013, los detalles se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 2. Lugar y caudal de las descargas de aguas residuales de Guaranda

Sector	Caudal de descarga (m ³ /seg)	Conversión: Caudal de descarga (m ³ /día)	Cota (m)
Quebrada de Tomabela, sector Alpachaca	12	1.036.800	2.788
Vivero Municipal	3	259.200	2.597
Puente vía a Vinchoa A	20	1.728.000	2.575
Puente vía a Vinchoa B	8	691.200	2.572
El Peñón-Camal Municipal	2,5	216.000	2.566
Barrio Marcopamba, hacia la planta de tratamiento abandonada	10	864.000	2.541
Total	55,50	4.795.200	

Fuente: Contraloría General del Estado (2013: 3), en base a datos proporcionados por la EMPA-G.

Sin embargo, los datos presentados por la EMAPA-G para el informe de Contraloría podrían estar sobre calculados, ya que en ciudades grandes como Quito el caudal medio total de las 21 descargas caracterizadas es de 5,37 m³/s, de éste valor el río Machángara recibe 4,05 m³/s, el río Monjas 6,36 m³/s y los ríos San Pedro y Guayllabamba 6.89 m³/s (EPMAPS, 2008: 3). Para comprobar este error técnico, se considera realizar un cálculo para ver una aproximación a la producción de aguas residuales en Guaranda (ver anexo 1) según las normas de alcantarillado de la EPMAPS (2009: 29), se evidencia que las aguas residuales que produce la ciudad anualmente es menor a la que hace referencia los datos oficiales del informe de Contraloría, por lo que no se cuenta con estimaciones

y mediciones correctas de cuánta agua residual produce la urbe.

Hay que considerar que el estudio que realizó la EMAPA-G para el Plan Maestro de Alcantarillado de Guaranda en 2007 por la compañía CORPCONSUL CIA. LTDA. (2007), se constató que el caudal en horas pico (8 y 9 am, y 12 y 13 pm) llega a 80 lt/seg. Si se transforma se obtiene un valor de 6920 m³/día, y 2.525.718 m³/año¹⁹. Anualmente es un valor pequeño en comparación a lo que presenta los datos de la EMAPA-G para el informe de Contraloría, por lo que sería pertinente realizar una buena revisión de los verdaderos caudales que se descargan en las quebradas de Tomabela, Negroyaco y posteriormente desembocan al río Guaranda. Hay que recalcar que las aguas residuales de las zonas de Tomabela y Negroyaco provienen de la parroquia urbana de Guanujo, y las quebradas empezando desde el sector de Alpachaca hasta el barrio Marcopamba se descargan aguas negras de gasolineras, talleres mecánicos, lubricadoras y lavadoras de vehículos.

Adicionalmente, cabe mencionar que la ciudad contaba con tres plantas de tratamiento de aguas residuales, la primera y la más importante fue clausurada por la Dirección Provincial de Salud de Bolívar y posteriormente abandonada sin prestar servicio alguno. La segunda corresponde a la planta del Camal Municipal que sirve para el pre-filtrado de los desechos líquidos y sólidos del faenamiento de animales, sin embargo, los residuos líquidos contenidos en coliformes desembocan directamente al río Guaranda. La tercera planta de tratamiento se ubica en la zona baja de la urbanización Coloma Román Sur, se encuentra sin funcionamiento debido a la ausencia de operación y mantenimiento de la EMAPA-G, producto de ello las aguas residuales se desbordan por una de las dos cámaras de salida hacia el suelo filtrándose hacia el río Guaranda (Contraloría General del Estado, 2013: 5).

2.5.3 Estado de las aguas residuales

De acuerdo al estudio realizado por la consultoría para el Plan Maestro de Alcantarillado, las aguas residuales de Guaranda presentan características típicas de aguas residuales domésticas. Dado que muestran una concentración media de DBO₅²⁰

¹⁹En las horas de mínimo consumo se tiene un caudal medio de 46 l/seg, transformado se tiene 3.974,4 m³/día y 1.450.656 m³/año, por lo que es similar al cálculo realizado anteriormente.

²⁰"Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de un agua residual, [ésta] expresa la cantidad de oxígeno para la oxidación bioquímica de los compuestos orgánicos degradables en el líquido residual [usualmente cinco días DBO5]" (Ecoportal, 2013).

de 50 gr DBO/hab/día, una concentración de coliformes de $17 \cdot 10^5$ NMP/100 ml y sin presencia de elementos tóxicos, por lo que las aguas residuales de Guaranda pueden ser sometidas a los procesos biológicos usuales de tratamiento (CORPCONSUL CIA. LTDA, 2007b: 55).

Desde este punto de vista, todos los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales que presenten la eficiencia deseada del 90% de remoción de la carga orgánica del afluente pueden ser utilizados para la ciudad de Guaranda. Pues si se considera que en ciertas épocas del año existe un déficit en los caudales de riego, sería interesante proponer una nueva forma de gestión orientada a la conservación del líquido para que este pueda ser reutilizado para la producción agrícola, ya que las aguas que produce la ciudad en su mayoría se componen de residuos domésticos que son más fáciles de tratar y por ende de reutilizar, lo que podría contribuir a una nueva forma de mejorar la sustentabilidad del recurso.

2.6 Indicadores de gestión de la EMAPA-G

Con el fin de conocer a fondo el desempeño institucional de la EMAPA-G, se calculó indicadores financieros y operacionales como: eficiencia de recaudo, ejecución de inversiones, eficiencia laboral, agua no contabilizada. Esto permitirá tener una mejor visión de la gestión que ha venido realizando la institución. La información presentada es a partir del año 2008, debido a que se trató de conseguir información desde el año 2003 cuando empezó a operar la EMAPA-G por vía de la ordenanza municipal; sin embargo, no fue posible conseguir estos datos por falta de seguimiento del personal al finalizar las diferentes administraciones de la Gerencia y Alcaldía, esto ha sido perjudicial para la empresa ya que al no poseer información de años anteriores, no se puede realizar un seguimiento adecuado de la situación real de los servicios de agua y saneamiento.

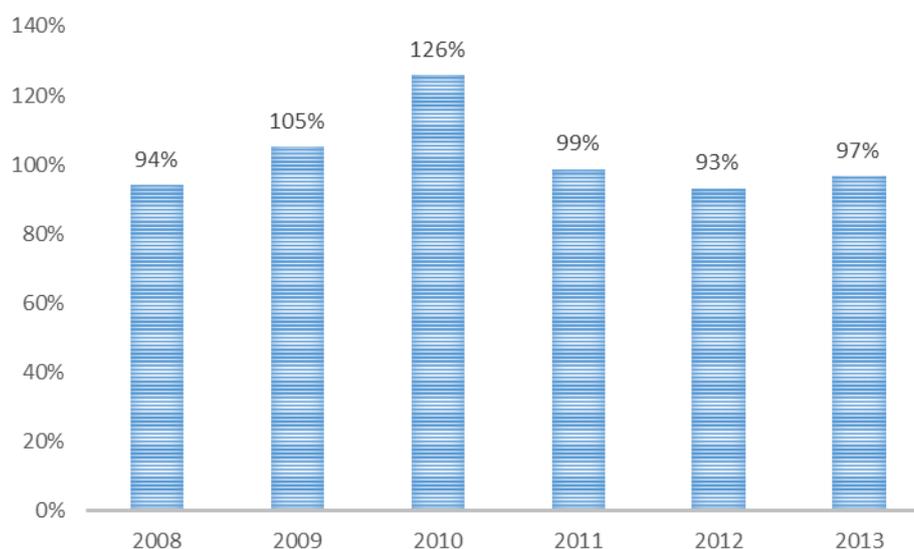
2.6.1 Indicadores financieros

Eficiencia de recaudo

Este indicador refleja el comportamiento del recaudo así como la calidad del proceso de facturación y la efectividad de cobro por parte de la empresa. Se observa que en el periodo comprendido entre el 2008 al 2013, se tiene un promedio de 102% como se observa en el gráfico 6, lo que refleja eficiencia al momento de recaudar en referencia del valor facturado versus el recaudado por la empresa. Hay que recalcar que el valor

recaudado de la empresa por prestar los servicios en el periodo 2008-2013 en promedio es de USD. 621.617,14. Se refleja un valor pequeño respecto a la recaudación e ingresos propios, recurriendo en su mayoría a transferencias del sector oficial.

Gráfico 6. Eficiencia de recaudo



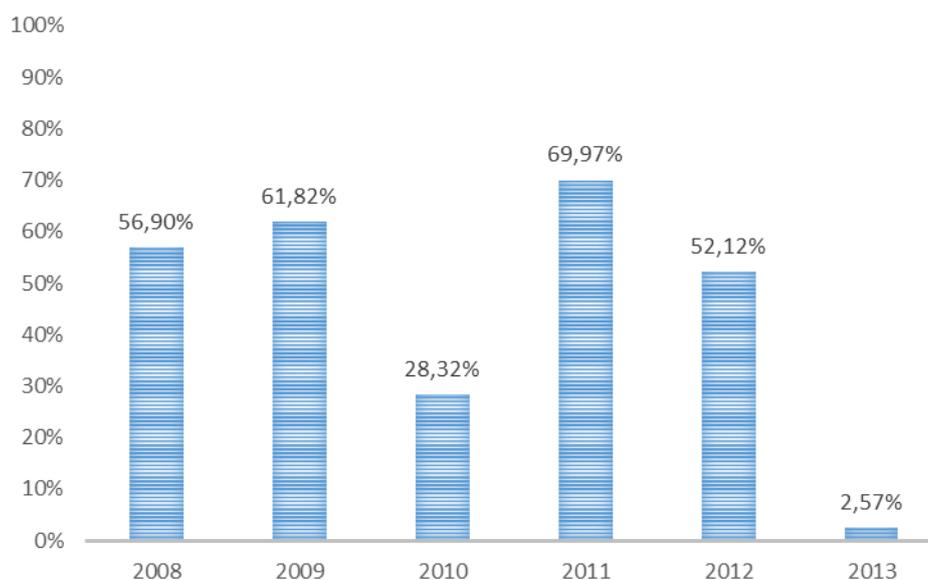
Fuente: EMAPA-G (2008-2013a)

Elaborado: por el Autor.

Ejecución de inversiones

Este indicador refleja la capacidad de la Gerencia para realizar las inversiones programadas. Se evidencia en el gráfico 7 que existen inconvenientes institucionales de la EMAPA-G referente a la baja inversión ejecutada frente a la inversión presupuestada. Este inconveniente se visualiza en la falta de cumplimientos de los planes anuales, y del incumplimiento a la Ordenanza municipal de creación sobre proveer y gestionar un adecuado servicio de agua y saneamiento en beneficio de la colectividad. Esta falta de inversión llega a su peor puntaje en el 2013 con el 2,57%, esto se explica en parte al programa de saneamiento respecto a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que aún no ha sido ejecutada.

Gráfico 7. Ejecución de inversiones



Fuente: EMAPA-G (2008-2013b)

Elaborado: por el Autor.

2.6.2 Indicadores Operacionales

Eficiencia laboral

Este indicador indica el costo del personal por m³ recaudado, se puede mencionar que en promedio el costo de personal es USD. 0,053 centavos por cada m³. Este costo representa en promedio el 74% de los ingresos que la empresa cobra por los servicios de agua y alcantarillado, lo que podría interpretarse que existe una recaudación eficiente desde el punto de vista del indicador antes calculado, pero los ingresos no son tan altos y el costo del personal es muy elevado para lo que se recauda.

Gráfico 8. Eficiencia Laboral



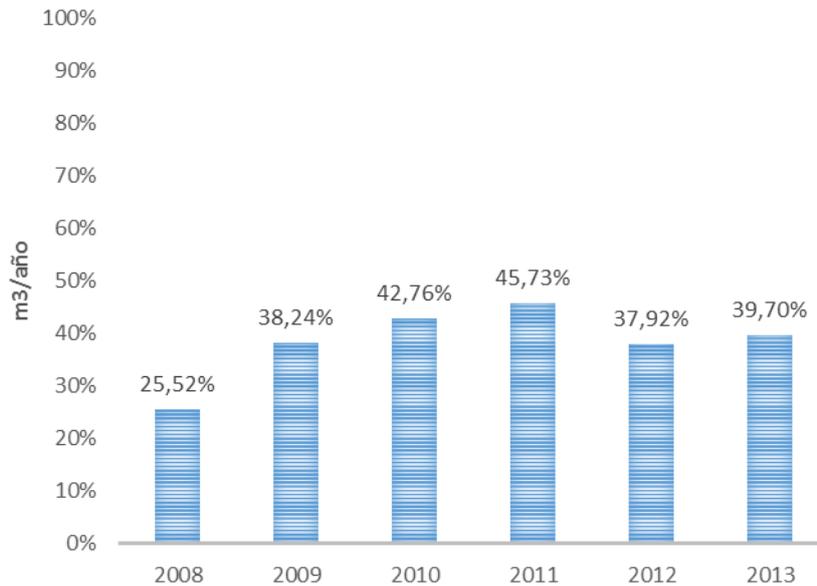
Fuente: EMAPA-G (2008-2013b).

Elaborado: por el Autor.

Agua no contabilizada

Este indicador muestra el porcentaje de pérdidas de agua que la empresa incurre en su operación al no contabilizarla. Para el cálculo se procede con los datos del agua producida en la planta de tratamiento de Chaquisca. Como se observa en el gráfico 9, en promedio se desperdicia aproximadamente el 40% de agua que produce la planta de tratamiento, esto se debe a varios factores como la falta de gestión óptima de los sistemas de abastecimiento de agua potable, pues existen lugares de la ciudad donde se observan fugas constantes de agua en los mismos tanques de tratamiento y almacenamiento, conexiones clandestinas, medidores obsoletos que están exentos de cobro o no permite tener una facturación correcta. Esto genera un alto costo social y económico para la población, ya que mientras más agua se pierda en la ciudad, necesariamente se deberá potabilizar más.

Gráfico 9. Agua no contabilizada²¹



Fuente: EMAPA-G (2008- 2013a), EMAPA-G (2009-2013)
Elaborado: por el Autor.

En definitiva, los indicadores antes calculados muestran parte de la realidad que vive la empresa, la gestión actual no está funcionando de la mejor manera, y solamente mantiene representación técnica sin fijarse en factores de sustentabilidad y en un modelo que es impulsado por el lado de la oferta, que no se enfoca en la demanda como principal instrumento de política y gestión. Es necesario que la gestión se reoriente a tener estándares de eficiencia pero sobre todo de autogestión, que le permitan actuar de manera más independiente a las rentas percibidas desde el Estado. El cambio de paradigma empieza desde la parte institucional, acatando el marco normativo y creando nuevas políticas para pasar de una gestión convencional, a una gestión integradora y conservacionista del recurso hídrico.

2.7 Cálculo del balance de agua urbana

Para el cálculo del balance hubo la necesidad de convertir las precipitaciones de mm/año a m³/año. Además se presentó un impedimento ya que en los anuarios meteorológicos del INAMHI, no se encontró información de la ciudad, el único dato con el que se contó fue la precipitación media anual de 761,6 mm/año, transformado a

²¹Como se dijo anteriormente, uno de los problemas institucionales es la falta de continuidad de anteriores administraciones. Cuando se quiso recolectar los datos del año 2008 referente al agua producida en la planta de tratamiento, solo constaba a partir de octubre 2008, no se contaba con registros de años anteriores según funcionarios de la EMAPA-G.

litros sería $761,6 \text{ l/año} \cdot \text{m}^2$, que fue considerada como una variable constante. A partir de este dato, es necesario contar

- Guaranda, con las parroquias Gabriel Ignacio Veintimilla, Ángel Polibio Chávez: 224 ha.
- Parroquia urbana de Guanujo: 165 ha.

Una vez realizada estos cálculos (ver anexo 2), se aplica la ecuación 1 descrita anteriormente, y se une con los datos a disposición. Se puede observar en la tabla 3 que el balance hídrico urbano presentaría más entradas de aguas que salidas, pues no existe presencia de déficit hídrico en el sistema urbano; pero el *output* representa una cantidad muy importante y en lo que respecta a aguas residuales, toda esa cantidad se mezclaría con gran parte de la escorrentía, contaminando las quebradas y posteriormente el río de la ciudad, esto se debe a que no existe una planta de tratamiento de aguas residuales y tampoco un alcantarillado especial para el desfogue de aguas lluvia. Sin embargo, se evidencia una gran cantidad de pérdidas en la fase de distribución del agua.

Este ejercicio de elaborar el balance de agua urbana de la ciudad, se convierte en una herramienta poderosa para conocer cuánta agua entra y sale del sistema urbano o en que se está consumiendo, pues al parecer gran parte de las aguas residuales provienen del consumo doméstico, y su calidad para ser tratadas y reutilizadas está al alcance. Esta información permitirá ejecutar políticas más acertadas a favor de los recursos hídricos y sobre todo enfocadas hacia una visión integral, como es la reutilización.

Por tanto, se puede mencionar que la ciudad no sufriría de escasez hídrica por el momento, pero se evidencian falencias muy graves como las altas pérdidas de agua no contabilizada que se filtran debido a dificultades técnicas en el suministro, a esto hay que sumar problemas centrales como la falta de organización, innovación y liderazgo que debe presentar una entidad que presta los servicios de agua y saneamiento como se explicará a continuación. La ciudad no representa una urbe densamente poblada, y ejecutar proyectos en mejoras del servicio con miras a preservar y cuidar los recursos hídricos, resulta una tarea más viable que en otras urbes como por ejemplo la ciudad de Quito.

Tabla 3. Balance hídrico de la ciudad de Guaranda

Año	INPUT(Qi)				OUTPUT (Q0)				TOTAL
	Flujos Centralizados (agua producida) m ³ /año	Agua descentralizada (subterránea)	Agua descentralizada (agua de lluvia en tanques)	Precipitación anual acumulado (lluvias en el área urbana) m ³ /año	Agua residuales producidas m ³ /año	Escorrentía de aguas pluviales m ³ /año	Flujos de agua (filtración de aguas subterráneas)	Evapotranspiración m ³ /año	Cambio en el volumen de agua almacenada m ³ /año
<i>Año</i>	<i>C^a</i>	<i>D_G^b</i>	<i>D_R^b</i>	<i>P^c</i>	<i>W^d</i>	<i>Rs</i>	<i>Re^b</i>	<i>ETR^e</i>	<i>Qi-Q0</i>
2009	2.954.001	ND	ND	2.985.472	940980	366912	1.129.502	2.618.560	883.519
2010	2.977.281	ND	ND	2.985.472	957670	366912	1.273.128	2.618.560	746.483
2011	3.250.525	ND	ND	2.985.472	973759	366912	1.486.365	2.618.560	790.401
2012	3.063.830	ND	ND	2.985.472	990118	366912	1.161.872	2.618.560	911.840
2013	3.289.016	ND	ND	2.985.472	1006752	366912	1.305.680	2.618.560	976.584

^a Los datos corresponden a la información del agua producida en la planta de Chaquisca proporcionada por la EMAPA-G (2009-2013).

^b No se encontró información sobre el agua de las fuentes subterráneas debido a que la producción de agua proviene del sector El Arenal que ésta fuera de la ciudad. Tampoco se encontró datos referente a los sistemas de tanques de almacenamiento de aguas lluvias. Respecto a los flujos de agua que se filtran hacia aguas subterráneas se procedió a incluir a éste valor las pérdidas de agua que se filtran en el proceso de distribución que corresponden al 40% para el 2013.

^c Se tomó información de la consultoría CORPCONSUL . CIA. LTDA., para el "Plan Maestro de Agua Potable de Guaranda", donde se estableció una precipitación media anual de 761,6 mm, posteriormente fue transformado a m³/año considerando toda el área de la urbe. Hay que mencionar que no se encontraron las precipitaciones anuales por parte de INAMHI para Guaranda, por lo que esta cantidad se considera constante para todos los años.

^d El cálculo de las aguas residuales fue realizado tomando en cuenta la fórmula de la ecuación 1 (ver anexo 1), solamente se estimó la población, con un consume de 157 l/hab*día.

^e La ETR representa toda el área de la urbe en un año.

Fuente: CORPCONSUL CIA. LTDA. (2007a), EMAPA-G (2009-2013).

Elaborado: por el Autor.

La gestión del agua no solamente debe apuntar hacia lo integral, sino que debe manejarse desde una visión de conservación del recurso desde su calidad inicial, que tiene como destino la ciudadanía, hasta su calidad final que es por donde el agua desemboca y circula fuera del sistema. Actividades como la reutilización de aguas residuales tratadas para otras actividades, representaría una oportunidad para que la ciudad implemente un nuevo modelo e incluso pueda ser aplicado por otras ciudades con similares características.

2.8 Conclusiones

A lo largo de este capítulo se han descrito los principales problemas que surgen alrededor del manejo del recurso hídrico en la ciudad de Guaranda. Una de las partes más sensibles del análisis es el manejo que se le da a las aguas servidas, sin recibir tratamiento previo a su deposición en el río Guaranda, generando el incremento de contaminación en el transcurso de los años; a esto hay que añadir el deterioro paisajístico que presenta el río en la urbe, convirtiéndose en un botadero de desperdicios.

La principal amenaza a los recursos hídricos circula en función de la contaminación que las ciudades generan. Guaranda en ese sentido viene arrojando aguas servidas al río desde los años 70's sin recibir ningún tipo de tratamiento, y resultado de ello es la desaparición de la flora y fauna del lugar (en el área peri-urbana). Se pone en peligro sanitario a poblaciones que se alojan junto a la rivera y que utilizan el agua como medio para la agricultura, lo cual compromete seriamente a la seguridad alimentaria y a la sustentabilidad hídrica de cualquier ciudad.

El cálculo del balance hídrico urbano corrobora que la producción de aguas residuales en la ciudad oscila entre un millón aproximadamente, de los cuales el 100% se está arrojando directamente al río y quebradas sin ningún tipo de tratamiento previo, lo que se entiende como un problema grave de contaminación hídrica. Por tanto, en este aspecto, la ciudad de Guaranda no cuenta con acciones mitigadoras de este impacto ambiental y social. Esta realidad puede dejar en claro que el principal problema y amenaza del recurso agua es el grado de contaminación que esta pueda soportar.

El problema de sustentabilidad del agua es complejo, pero la responsabilidad recae directamente en la parte administrativa, como entidad que suministra el recurso. La gestión del agua en la ciudad refleja una institucionalidad débil basándose por un

lado en nociones básicas de incremento de suministro, y por otro, de falta de visión y liderazgo hacia otras alternativas sustentables de racionamiento del recurso. En lo que respecta a la EMAPA-G, no se han presentado proyectos respecto a ordenanzas o reglamentos primordiales para cualquier empresa pública prestadora de servicios de agua referente a: cuidado y aseguramiento de las fuentes de agua, manejo sustentable del recurso. Pues no se cuenta con una base legal que norme el nivel de contaminación del agua en su deposición final. En definitiva el recurso agua se encuentra desprotegido.

Respecto a la dinámica administrativa de la EMAPA-G se cuenta con factores que comprometen el desempeño de la empresa que tiene más de once años de creación y funcionamiento. Estos indicadores pueden reflejar el verdadero rostro institucional de la entidad que maneja el recurso agua en la ciudad. El agua no contabilizada refleja importantes pérdidas, cabe preguntarse entonces ¿qué factores técnicos e institucionales provocan dichas pérdidas de agua? ¿Cuál es el destino final de esas pérdidas de agua? Las respuestas pueden dirigirse a malas lecturas de los medidores, conexiones clandestinas, conexiones obsoletas que hacen que en el sistema de distribución se presenten fugas y el recurso se filtre y se pierda. A esto hay que sumar la falta de un liderazgo institucional que se explica por el deterioro de la gestión con poca generación de recursos económicos propios.

Ante este panorama, se puede llegar a una conclusión anticipada, en que la gestión del agua en la ciudad de Guaranda no es sustentable, debido a un manejo institucional débil reflejado en la falta de marcos normativos en el área de cuidado y protección de las fuentes de abastecimiento. El manejo que se le da a las aguas servidas en la ciudad es nula, lo cual acelera el proceso de contaminación. Este panorama, corrobora que la gestión que se le da al agua no es la adecuada, se tienen muchas pérdidas hídricas en la distribución, y por ende se explica la poca autonomía financiera (60% del agua producida se factura), que no permiten mejorar la gestión hacia el cuidado y conservación sustentable del agua. Por otra parte, hay que recalcar que la generación de ingresos propios recaudados por parte de la empresa respecto al costo del personal representa alrededor del 75%, que demuestra la poca autonomía financiera.

CAPÍTULO III

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

3 Introducción

La sustentabilidad del agua puede ser comprendida como el cuidado organizado y preventivo de las fuentes hídricas subterráneas o superficiales, desde su extracción inicial hasta su deposición final, con la finalidad de satisfacer las necesidades sociales, ambientales y económicas actuales, sin comprometer a las necesidades de las generaciones futuras.

Para lograr que la sustentabilidad del agua, se debe formar una institucionalidad que se encamine hacia alternativas que generen aseguramiento de las fuentes hídricas con el propósito de tener un menor consumo del recurso. Para este fin, se deben realizar prácticas que traten de mitigar la intensidad de contaminación de cualquier fuente hídrica, esto representa un punto clave para alcanzar una sustentabilidad hídrica. Las posibles acciones que los marcos normativos deben considerar se explican a continuación:

- Política de conservación a partir del tratamiento de aguas residuales como pieza fundamental para el control de contaminación hídrica.
- Aseguramiento de las fuentes abastecedoras de agua para seres humanos, actividades productivas y medios naturales (flora y fauna).
- Aprovechamiento máximo del recurso hídrico a través de la recolección de aguas lluvia.
- Reutilización de aguas residuales tratadas para actividades demandantes del recurso: agricultura, ornamento urbano, lavanderías de autos, etc.
- Gestión de la demanda para generar un mayor ahorro de agua.

Estas medidas de política, deben ir a la par de una reformulación institucional que trate de darle un mejor uso al agua, con alternativas que formen parte de la sustentabilidad hídrica, y que eliminan el paradigma de abundancia respecto al agua dulce. Lo primordial en este ámbito es preservar el recurso y tratar de gestionarlo de la mejor manera a partir de un enfoque sustentable.

Para lograrlo, el recurso agua debe depender de una administración eficiente que trabaje en función de su cuidado y protección, a través de la creación de marcos institucionales que no solamente garanticen el suministro de agua y alcantarillado, sino que se dirijan hacia la reglamentación de prácticas más sustentables en favor del agua. El problema surge cuando existen entidades mal gestionadas, con instituciones locales débiles, evidenciando poca responsabilidad ambiental y social, acompañado de insuficiencia financiera.

La falta de administración institucional ha sido un factor para que el agua siga estando sin protección, acelerando su degradación con un incremento constante de la contaminación de ríos, lagos, mares, etc. Evidentemente, esta realidad refleja la responsabilidad que tienen las instituciones locales para asegurar la cantidad y disponibilidad hídrica en una región. La gestión del agua ha pasado a un segundo plano de importancia, y se sigue manteniendo una concepción de un recurso abundante, lo cual impide que se ejecuten acciones y planes necesarios para lograr un mejor manejo sustentable del agua.

La nueva gestión del agua debe mejorar la sustentabilidad del recurso y encaminarse a crear nuevos mecanismos para la gestión de la demanda. Por ejemplo, impartir políticas hacia la población para generar conciencia en el ahorro y conservación del agua. Las empresas suministradoras de agua generalmente gestionan la oferta para cubrir los requerimientos de suministro que los usuarios demandan, lo que refleja un enfoque centralista del agua. En cambio, la gestión de la demanda tiene la perspectiva de aumentar la eficacia en el uso final del agua por parte de los usuarios reduciendo las pérdidas. El incremento de la demanda podría cubrirse total o parcialmente con agua que se puede ahorrar con un buen manejo técnico y social, lo cual se convierte en un mecanismo de gestión en pos de la sustentabilidad.

Un manejo más sustentable del agua a través de la gestión de demanda, se lo puede realizar por medio de técnicas sencillas y económicas, ya que los hábitos del consumo de agua se convierten en una nueva cultura que con el tiempo puede ir evolucionando.

Recapitulando, se entiende por sustentabilidad del agua, 1) al cuidado y protección de las fuentes hídricas, y 2) a la mitigación de la contaminación hídrica a partir de su tratamiento, y 3) al ahorro del recurso que se puede generar por parte de los

demandantes. Para que se cumpla este fin, se debe insistir en la creación de marcos institucionales desde los gobierno locales en apego a la Constitución y Leyes nacionales, con el objeto de ampliar el panorama clásico de suministro de agua potable y alcantarillado hacia uno más integral y sustentable, que se articule con las nuevas alternativas vinculadas al ahorro del recurso hídrico.

3.1 La propuesta de reutilización

Uno de los nuevos retos de la ciudad no debe enfocarse solamente al tratamiento de las aguas residuales con el fin de devolverlas limpias al río, sino que se debe analizar el potencial de que tienen los *outputs* para reutilizar el agua en las zonas periféricas de la ciudad, que tienen como actividad la agricultura. Es una opción para incrementar las áreas de riego y suplir la escases de oferta en épocas de verano, ya que las fuentes hídricas que alimentan los sistemas de riego, han disminuido sus caudales en los últimos años. El propósito central de esta tesis, fue proponer un nuevo modelo para la gestión hídrica urbana de Guaranda orientada a la reutilización de aguas residuales tratadas hacia otras actividades, y la agricultura es uno de los sectores donde se podría aplicar ésta propuesta.

Por otro lado, una recomendación adicional para lograr una ciudad más sostenible, no sólo tiene que ver con su capacidad de producir menos residuos o realizar un adecuado reciclaje, se trata de tener una visión mucho más integradora en lo que respecta a los servicios de agua potable y saneamiento, se debería pensar en una descentralización del sistema para las futuras urbanizaciones de la ciudad. La descentralización del agua en un principio estaba asociado a los hogares y comunidades de las áreas rurales donde el acceso para proveer alcantarillado era imposible. Ahora estos sistemas lo que tratan de hacer es sectorizar a la ciudad para proveer sistemas avanzados de agua, sistemas de tratamientos de aguas residuales y pluviales (Burn et al., 2012: 215).

Estas nuevas tendencias en "sistemas de tratamiento de aguas residuales son tratadas directamente desde los hogares o barrios, este sistema solamente puede ser utilizado en lugares con una densidad poblacional baja" (Bieker et al., 2010: 2906), y la ciudad de Guaranda podría ser pionera en este aspecto, considerando algunos aspectos técnicos y geográficos. Esto queda planteado como una opción a futuro que cualquier urbe podría acoger y manejar de manera eficiente los servicios de agua potable y

saneamiento, para ello se debe generar más investigación de esta nueva gestión para Ecuador.

Es fundamental evaluar si existe la posibilidad ambiental, social y económica para que la gestión actual que implementa la EMAPA-G sea reemplazada por una nueva gestión integral orientada a la conservación del recurso hídrico. Dejar a un lado esa concepción cerrada tecnicista y más bien convertirse en una empresa que implante nuevas maneras de manejar los recursos hídricos desde su captación hasta su deposición final, donde se integre un trabajo en conjunto con políticas en pos de alcanzar la sostenibilidad en el uso y acceso del agua. Para ello, es necesario evaluar la actual gestión (*status quo*) frente a una nueva gestión que transforme todo el aparato institucional de la EMAPA-G, con el propósito de ser aplicable por otras urbes. El análisis multicriterio se convierte en una herramienta útil para poner a consideración los aciertos y desaciertos de la actual gestión en Guaranda frente a una nueva gestión sustentable de los recursos hídricos.

3.2 Análisis Multicriterio

En la actualidad el debate del nuevo conservacionismo "*the new conservation debate*" (Minteer y Miller, 2011), abre una puerta para proponer políticas y proyectos de protección a la biodiversidad con el objetivo de mejorar el bienestar y la convivencia humana dentro de un ecosistema y un entorno lleno de valores y hábitos culturales, que por su contexto heterogéneo no pueden ser evaluados con modelos económicos como herramienta metodológica. Siendo el análisis multicriterio más adecuado para tomar decisiones que tenga como contexto variables monetarias y no monetarias orientadas a la sustentabilidad.

En el caso del manejo político del agua resalta la complejidad de su sistema cuando los aspectos relevantes de un problema en particular no pueden ser capturados mediante un único punto de vista (Munda, 2004: 663). En éste caso, todas las mediciones ambientales están sujetas a incertidumbres de distinto grado de intensidad y de tipos diferentes desde el punto de vista cualitativo. Por tanto, "cada vez se reconoce más en los niveles altos de política que no existe ningún método único que pueda captar la diversidad de perspectivas y evaluaciones que están presentes en cualquier tema que concierne al ambiente" (Leff, 2003: 68-69).

Si bien se acepta la visión de que los sistemas del mundo real son de naturaleza multidimensional, también se debe aceptar que la evaluación de los diversos proyectos o planes públicos tienen que basarse en procedimientos que deben estar integrados a partir de diferentes puntos de vista; donde existe convergencia hacia los conflictos que pueden suceder, por lo que la evaluación multicriterio es un marco político adecuado (Munda, 2004: 664). Además, cuando se realizan ejercicios de política no solamente deben tomarse en cuenta las dimensiones que son medibles y contrastables de las partes simples del sistema, que si llegará a complicarse puede simularse técnicamente (inconmensurabilidad técnica). Para acercarse lo más posible a la realidad también se debería hacer frente a las dimensiones superiores del sistema como: relaciones de poder, intereses ocultos, participación social, limitaciones culturales (Munda, 2004).

La visión de "cómo percibir y enfrentar al mundo real de múltiple representación y de complejidad reflexiva de la Evaluación Social Multicriterio (ESM), tiene un inicio epistemológico en la propuesta de la Ciencia Pos-Normal (CP-N) desarrollada por Funtowicz y Ravetz (1991)" (Ramos-Martín, 2003: página citado en Fürst, 2008: 3), y que puede constituirse como el fundamento científico para explicar la sostenibilidad, ya que nació en paralelo al concepto de *desarrollo sostenible*, desarrollado por el Informe Brundtland (1987).

La CP-N muestra un nuevo tipo de práctica científica que puede manejar cuestiones complejas relacionadas con la ciencia y con principios basados en la justicia y democracia, así como proporcionar una base científica para la sostenibilidad y para la ayuda en la decisión multicriterio. Además, la CP-N no se limita a un cierto enfoque metodológico, sino que favorece a aquellos capaces de hacer frente a la complejidad con el fin de complementar las herramientas cuantitativas o matemáticas. Cuando un proceso político está relacionado con problemas complejos, la ciencia normal deja de ser la excepción de la regla (Omann, 2004: 74, 80, 81). En este caso la *incertidumbre* se convierte en el núcleo de la CP-N y en el núcleo de los procesos científicos (Funtowicz y Ravetz, 1991), como una característica inherente de problemas científicos. La incertidumbre según Keynes (1937) determina el proceso económico y el comportamiento individual.

Para el estudio del agua debe aplicarse el enfoque de criterios múltiples de naturaleza multidimensional. La sustentabilidad hídrica no puede ser medida a partir de

una sola dimensión, ya que convergen criterios sociales, ambientales, económicos, institucionales e incluso culturales. El uso de marcos de criterios múltiples se convierte en una herramienta eficaz para poner en práctica un enfoque multi/interdisciplinario donde existen diversas opiniones de expertos de diversas ramas sobre un mismo tema. La cuestión respecto a la interdisciplinariedad es encontrar algún tipo de acuerdo sobre la diversidad de criterios que se pretende utilizar, también entra el tema de la multidisciplinariedad en el que se propone establecer una calificación apropiada para cada criterio²². Este enfoque es utilizado principalmente cuando existe la opinión de varios expertos para un determinado problema.

Para el desarrollo de la investigación se escogió como herramienta idónea el análisis multicriterio (AMC), que se aleja de la conmensurabilidad crematística y que más bien se adentra en la inconmensurabilidad (la ausencia de una unidad de medida común para los valores plurales), que no implica incomparabilidad, sino más bien involucra a la comparabilidad débil²³. La inconmensurabilidad no permite reduccionismo monetario ni físico, es decir, queda excluido ignorar al ambiente dentro de los procesos productivos de la economía. En este punto cabe aclarar dos conceptos para evitar ambigüedades de interpretación respecto a la discusión filosófica que existe entre *inconmensurabilidad* y *conmensurabilidad*. No es posible decir que todas las situaciones puedan ser *conmensurables*²⁴, ya que manifestar esta postura abre la puerta para entender que existen medidas comunes mediante las cuales se puede comparar.

La Evaluación Social Multicriterio (ESM) afronta "el reto de ayudar a la toma de decisiones, con un fundamento multicriterial, cuando se ubica dentro de un entorno de complejidad reflexiva y conflictividad social" (Fürst, 2008: 3). La ESM parte de los conceptos de inconmensurabilidad tanto social como técnica. La *inconmensurabilidad social* "puede derivar de los conceptos de complejidad reflexiva y de la ciencia pos-normal, y se refiere a la existencia de una multiplicidad de valores legítimos de la sociedad" (Munda, 2004: 664). En cambio, *inconmensurabilidad técnica* "proviene de

²² La multidisciplinariedad implica que cada experto tiene su parte. En la interdisciplinariedad existen opciones metodológicas que se discuten en todas las disciplinas

²³ La incomparabilidad quiere decir que las opciones no se pueden comparar, es decir, que es imposible una elección racional entre opciones. En cambio la comparabilidad débil implica la base filosófica de múltiples criterios de evaluación donde existen conflictos entre las diferentes consecuencias de una opción, no es posible definir una situación de preferencia e indiferencia entre dos opciones, una opción es mejor que otra en términos de algunos criterios (Omann, 2004: 104; Martínez-Alier *et al.*, 1998: 69).

²⁴ Véase nota 26.

la naturaleza multidimensional de la complejidad, y se refiere a la cuestión de la representación de múltiples identidades en modelos descriptivos" (Munda, 2004: 664).

La existencia de valores irreducibles a una única medición monetaria (*incommensurabilidad técnica*), y la emergencia de los intereses conflictivos no reconciliables basados en un sólo parámetro de legitimación a través de la participación democrática (*incommensurabilidad social*); así como, las alternativas difícilmente o solo parcialmente comparables respecto a un único parámetro de desempeño (*comparabilidad débil*), se convierten en fundamentos propios de la Economía Ecológica, enfocándose en el desafío hacia la sustentabilidad en el contexto de tomar decisiones de carácter social, a través de un enfoque metodológico e instrumental de evaluación integrada y de ayuda decisional multicriterio (Fürst, 2008: 3).

Aclarado los aspectos filosóficos, se entiende que el AMC parte desde una visión de incommensurabilidad que refleja un "examen y la evaluación de un tema de manera multidimensional, utilizando un conjunto de diversos indicadores, los cuales pueden emitir señales contradictorias de la *sostenibilidad* ecológica y económica [...]" (Falconí, 2002: 181). En el AMC "la toma de decisiones implica el hecho de comparar elementos que se traducen en la necesidad de realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación para establecer preferencias entre ellos, es decir, una jerarquía" (Pacheco y Contreras, 2008: 38).

El análisis multicriterio subsume un amplio conjunto de diferentes métodos de evaluación no monetaria, cuyo objetivo es integrar la medición objetiva con juicio de valor y abandonar explícitamente la subjetividad (Belton y Stewart, 2002). Esto da la pauta para entender que la información contenida en los criterios y, en relación con los efectos de decisión, puede ser incierta y altamente cualitativa (Munda, 1995). Los parámetros cualitativos se pueden utilizar directamente como variables lingüísticas o transformarse en cardinales para luego ser utilizadas como variables cualitativas.

Munda (2004) utiliza el término evaluación multicriterio como la combinación de representaciones, valoraciones y verificación de calidad conectada a un problema de política dado en relación con un determinado objetivo, por esta razón, cuando se encuentra en un contexto social Munda no lo llama "decisión multicriterio". La evaluación social multicriterio nace como una herramienta de análisis que debe ser lo

más participativa y transparente posible, sin embargo, la participación es una condición necesaria pero no suficiente.

Hay que destacar que la investigación utiliza el enfoque europeo²⁵ de multicriterio de ayuda para una decisión o *Multi-criteria Decision Aid* (MCDA) cuyo objetivo es dar recomendaciones a los procesos decisionales, centrándose en la investigación de métodos discretos, es decir, permite evaluar en qué medida una opción es mejor o peor basándose en los diferentes criterios empleados. Además, se centra en el principio filosófico de comparabilidad débil donde no existe una medida común (Omann, 2004: 101, 139).

Un problema multicriterio discreto se puede describir de la siguiente manera:

A es un conjunto finito de n acciones (o alternativas) viables; m es el número de diferentes puntos de vista donde $g_i: A \rightarrow R, \forall i = 1, 2, \dots, m$ es una función de valor real que representa el criterio g_i ; según una preferencia no decreciente, mientras que la acción a es evaluada como una mejor acción que la acción $b(a, b \in A)$ según el punto de vista $g_i(a) > g_i(b)$ (Munda, 2002: 6).

Un problema del multicriterio se representa con una matriz de n columnas (alternativas) y m filas (criterios).

La complejidad que surge para evaluar la sustentabilidad del recurso hídrico, no solamente debe medirse a partir de variables cuantitativas; sino que debe involucrar aquellas variables cualitativas que permitan ampliar los parámetros para una mejor decisión; pues para la evaluación del recurso agua no es conveniente partir de un análisis económico convencional de costo-beneficio, ya que es necesario considerar otras variables intangibles tanto sociales como ambientales, que resultan imposibles poder cuantificarlas con las medidas crematísticas.

El análisis de costo-beneficio (ACB) se encuentra en un marco teórico sólidamente definido, la Economía del Bienestar, y por ende los resultados obtenidos deben ser eficientes. El ACB implica "conmensurabilidad débil"²⁶, lo que quiere decir

²⁵ También existe el enfoque estadounidense Multi-criterio para la Toma de Decisiones o *Multi-criteria Decision Making* (MCDM) que se apoya en métodos aditivos de utilidad, es decir, utilizan una cierta forma de utilidad o función de valor como base para la agregación.

²⁶ Entiéndase por conmensurabilidad una medida común, es decir, existe "una medida de valor que sirve para clasificar de una sola manera los objetos y situaciones evaluados" (Martinez-Alier *et al.*, 1998: 69-70). La "conmensurabilidad fuerte" permite clasificar un grupo con un único criterio, es decir, se representa a partir de una medida cardinal que clasifica los objetos. En cambio, la conmensurabilidad

que existe una única escala de valor. El problema del ACB surge cuando se presenta una pluralidad de valores, en este caso, el AMC se convierte en una herramienta adecuada para poder medir aquellos valores inconmensurables que permite aproximarse hacia una mejor decisión.

El análisis de un nuevo tipo de gestión hídrica orientada hacia la conservación del agua por medio de la reutilización, para ello, el AMC permite analizar el impacto que tienen los diversos criterios en las alternativas planteadas. Una vez obtenido los resultados, el AMC permite poner a discusión de los actores sociales la posibilidad de evaluar según su perspectiva las alternativas planteadas, lo que se convierte en un instrumento poderoso de cohesión institucional para hacer frente a los múltiples problemas del agua en el sector urbano por un lado, y por otro, a las oportunidades que surgen de dichos problemas para otros sectores periurbanos demandantes del recurso como el agrícola.

En este caso de estudio, el AMC se convierte en la mejor herramienta metodológica para evaluar un panorama heterogéneo que mezcla diversos criterios y alternativas encaminadas a mejorar la forma en que se conciben las políticas hídricas dejando el carácter ingenieril y concentrándose en una planificación que de resultados de eficiencia-equidad, que efectúe verdaderos cambios para la conservación del recurso. El AMC es una herramienta útil para integrar en la evaluación aquellos criterios que viabilicen la sustentabilidad del recurso.

En éste análisis entra la subjetividad de los actores sociales sobre la mejor política a decidir de acuerdo a las necesidades del problema a solucionar, donde están los criterios de prioridad de cada actor social para llegar a un acuerdo en conjunto. Por tanto, los estándares ambientales deberían ser acordados a través de procesos de participación pública, es así que los procesos de decisión se ajustarían a un tipo de racionalidad a través de procesos de negociación que tienen como meta finalizar con una solución satisfactoria en términos económicos, sociales y ambientales.

En el ámbito multicriterial existen múltiples métodos para diferentes tipos de decisiones, entre los principales está: teoría de utilidad multiatributo (MAUT), proceso analítico jerárquico (AHP), métodos de superación (MS), métodos cualitativos y fuzzy,

débil es la elección racional de "diversas opciones sin ser capaz de darles un único orden (medida ordinal)" Martínez-Alier *et al.*, 1998: 69-70).

método REGIME, MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). Cualquiera de estos métodos discretos podrían ser utilizados para este caso de estudio ya que combinan mediciones cuantitativas y también cualitativas; sin embargo, el método NAIADE es el ideal para la evaluación ambiental integrada (EIA) que es el propósito de esta investigación.

3.3 Técnica para el análisis de AMC: NAIADE

El NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) fue desarrollado por el profesor Munda (1995), este método está basado en algunos aspectos del "axioma de comparabilidad parcial" de Roy como un método de evaluación multicriterio discreto que no utiliza la ponderación de los criterios tradicionales, siendo el número de alternativas finito. NAIADE realiza la comparación de alternativas en base a un conjunto de criterios que definen diferentes tipos o grados de incertidumbre.

EL NAIADE corresponde a hallazgos de la ciencia pos-normal incorporados en la Economía Ecológica, "poniendo énfasis en la información y evaluación imprecisa y mixta (cuantitativa, cualitativa, numérica, verbal) en un entorno de decisión borrosa (*fuzzy*), debido a la indeterminación del problema ambiental subyacente y la múltiple representación sistémica del mundo real" (Munda, 2004: página citado en Fürst, 2008: 4).

La matriz de impacto o de evaluación permite incluir medidas deterministas, estocásticas o difusas del comportamiento de una alternativa a_n con respecto a un criterio g_m , por lo que es muy flexible para aplicaciones orientadas a la sustentabilidad. Desde el punto de vista empírico, el NAIADE es apropiado para modelos económicos-ecológicos que incorporan diversos grados de precisión en las variables tomadas en consideración (Munda *et al.*, 1995: 81).

El método permite realizar dos tipos de evaluaciones. La primera se basa en el análisis técnico de los valores de las puntuaciones asignadas a los criterios de cada alternativa y se lleva a cabo utilizando una matriz de impacto (alternativas vs. criterios), es decir, se incluyen un conjunto de criterios técnicos para evaluar las diferentes opciones políticas (las alternativas). La "segunda analiza los conflictos entre diferentes grupos de interés y la posible formación de coaliciones de acuerdo a las alternativas propuestas (matriz de equidad)" (NAIADE, 1996: 5), a través de una evaluación lingüística de las alternativas por cada grupo o actor social, permitiendo realizar un análisis de los conflictos entre los diferentes grupos de interés para el caso de estudio.

NAIADE permite realizar una clasificación de alternativas basadas en el índice de intensidad de preferencia $u^*(a, b)$ y la correspondiente entropía $H^*(a, b)$. El resultado final proviene de la intersección de dos clasificaciones separadas. La primera clasificación determinada por Φ^+ , se basa en las relaciones de preferencia "mejor y mucho mejor", toma valores que van de 0 a 1, e indica cuando una alternativa es "mejor" que otras. La segunda clasificación se determina por Φ^- , que se basa en las relaciones de preferencias "peor y mucho peor", de igual manera su valor va de 0 a 1, que indica cómo una alternativa es "peor" que otras (NAIADE, 1996: 9). Ésta nomenclatura va estar presente tanto en la matriz de impacto como en la de equidad.

Para el análisis de equidad, el NAIADDE permite integrar las posiciones de interés de los actores sociales involucrados y sus evaluaciones (expresadas verbalmente en términos ordinarios) en un procedimiento algorítmico, en el que se busca llegar a una salida de evaluación social en forma de coaliciones de interés graficadas mediante un *dendograma* (Fürst, 2008: 4).

Se empieza con la creación de la matriz de equidad que da una indicación lingüística del juzgamiento de cada grupo de interés para cada una de las alternativas. El resultado final de la matriz es el dendograma que muestra la formación de coaliciones entre los grupos sociales, de acuerdo a sus intereses. Para este estudio se realizan las dos evaluaciones tanto el desarrollo de la matriz de impacto como la de equidad.

La elección de este método radica en las evaluaciones de impacto ambiental integrada (EIA) que se utiliza en este estudio, pero que también mezclan dimensiones sociales y económicas, lo que facilita el análisis para la toma de decisión correspondiente a la sustentabilidad hídrica que es la finalidad de ésta investigación.

3.4 Definición y estructuración del problema

Como se explicó a mayor detalle en el capítulo II, el problema que surge respecto al recurso agua se centra en tipo de gestión que actualmente se practica en la urbe, pues no se evidencia una orientación hacia un propósito de manejo integral por parte de las entidades. Las políticas de gestión han sido orientadas a partir de una visión de oferta, e incluso descuidando normativas que no son cumplidas como el tratamiento de aguas residuales municipales.

El problema que surge a partir de una visión de *suministro* es la incapacidad de realizar una gestión más equilibrada. En el transcurso del tiempo no se ha evidenciado algún incentivo hacia una cultura de conservación (gestión de la demanda) orientada a la sociedad por parte de los hacedores de política. Además, uno de las mayores deficiencias de la autoridad administradora es no realizar tratamiento alguno de las aguas residuales municipales, afectando varios aspectos a nivel urbano como: salud humana, daños ambientales, afectación paisajística, insalubridad, etc.

3.5 Descripción de las alternativas planteadas

Para la elaboración del análisis multicriterial se eligieron tres posibles alternativas de solución a la problemática del agua en Guaranda. El objetivo es evaluar cuál es la mejor opción para mejorar la sustentabilidad del recurso hídrico, las alternativas planteadas son:

- Alternativa 1: Situación actual.
- Alternativa 2: Gestión hídrica con reutilización.
- Alternativa 3: Gestión hídrica con tratamiento.

3.5.1 Situación actual

La situación actual del manejo hídrico en la ciudad se ha caracterizado por ser un sistema de inexistentes mecanismos institucionales para mejorar la gestión del agua orientado hacia la sustentabilidad. Actualmente, en la ciudad no se realizan tratamiento de aguas residuales, por lo que la contaminación es constante hacia el río Guaranda, sobrepasando los niveles admisibles de una descarga en otro cuerpo receptor según normas nacionales (TULAS)²⁷.

No existen políticas de conservación en los últimos años, pues la introducción de especies exóticas (pinos, eucaliptos) ha provocado externalidades ambientales negativas como la erosión de suelos, siendo uno de los elementos que afecta a la disminución de caudales. La expansión de la frontera agrícola y el crecimiento demográfico rural desordenado ha sido un problema de planificación, poniendo en riesgo la conservación de las fuentes de agua que abastecen a la ciudad y sus alrededores.

²⁷ "Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, libro VI".

Los niveles de cobertura para agua potable según el último Censo de Población y Vivienda realizado por el INEC en 2010, menciona que la cobertura es del 82,3%, cuando en 2001 era de 81,5%. Lo que demuestra que habido un crecimiento de tan sólo menos de un punto porcentual. Por otra parte, los niveles de agua no contabilizada por el sistema de distribución son del 39,7%. Estas pérdidas son provocados por varios factores como: conexiones clandestinas, fugas en la distribución, medidores obsoletos, etc.

Se puede recalcar, que existe una sobreproducción de agua potable en la planta de tratamiento respecto a los requerimientos de la demanda real. Lo óptimo no es incrementar la producción de agua, sino proveer de acuerdo a las necesidades de la población, beneficiando a la conservación del recurso. Por tanto, la situación actual permite comprender que el recurso hídrico no está manejado de acuerdo a estándares de sustentabilidad que faciliten la continuidad y calidad en el tiempo.

3.5.2 Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas

La gestión hídrica con reutilización de aguas residuales, se enfoca en el marco de la sustentabilidad. Esta nueva política hídrica se encamina en la creación de nuevos marcos institucionales, con el fin de potenciar aquellas normativas ya establecidas; a través de un nuevo panorama de manejo del agua con apoyo legal (local y nacional) para reorientarlo hacia la sustentabilidad. El modelo de gestión es optimizar el uso del recurso a través de la reutilización de aguas residuales tratadas (con tratamiento secundario), destinado hacia el sector agrícola en la zonas periurbanas, generando nuevas oportunidades como el incremento de hectáreas e usuarios con riego.

Este sistema de gestión se enfoca en varios aspectos. Genera ahorro del recurso en las fuentes de abastecimiento para el sector agrícola, optimiza la producción de agua potable de acuerdo a los niveles de demanda de la ciudad evitando su exceso. Se prioriza la disminución de pérdidas (agua no contabilizada) formadas en la red de distribución, lo que genera un beneficio directo a mediano plazo, pues no será necesario explorar y explotar nuevas fuentes de agua en El Arenal.

Esta alternativa garantiza el recurso para la población futura y el manejo eficiente al disminuir las pérdidas de agua. Esta visión permite potenciar políticas que

dirigen el recurso hacia la conservación, por medio de medidas técnicas, pero también por actividades que ayudan a mejorar la sustentabilidad.

Por otra parte, se prioriza una cobertura igualitaria de los servicios de agua potable y alcantarillado. Lo destacable de esta gestión es generar una nueva cultura hacia el ahorro y cuidado del agua, donde el recurso se convierte en un activo ecosocial que cumple diversas funciones económicas, sociales y ambientales; dejando a un lado la visión crematística que se le da al agua como insumo que es utilizado netamente para la producción.

3.5.3 Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales

Esta alternativa crea un mecanismo de gestión hídrica a través del cumplimiento adecuado de las normativas establecidas, siendo muy similar en muchos aspectos a la alternativa dos (Ej. tratamiento de aguas residuales). La característica especial es su orientación hacia mejorar la eficiencia de la gestión a través de incrementar la cobertura de los servicios de agua y saneamiento. Se prioriza proveer niveles más adecuados de descargas al río Guaranda, minimizando su carga contaminante (DBO₅, DQO, Coliformes fecales). Se disminuye de manera relativa los niveles de pérdidas de agua en la red de distribución; es decir, se orienta a mejorar la situación actual, a través de la eficiencia en la gestión y del cumplimiento de las normativas ya establecidas.

La diferencia entre las alternativas dos y tres está en que la alternativa tres no se aprovechan las aguas residuales para ser reutilizadas, sino que son depositadas directamente al río Guaranda, con menor impacto respecto a la situación actual.

3.6 Descripción de las dimensiones y criterios

Las dimensiones identificadas para el análisis multicriterial se clasifican en tres: social, ambiental y económico. Los criterios que se escogieron fueron considerados de acuerdo a un enfoque de gestión institucional más sustentable y orientada a la reutilización de aguas residuales. En la siguiente sección se explican a mayor detalle los valores de cálculo de los criterios.

3.6.1 Definición de indicadores

Social

- *Consumo de agua urbano*: es el consumo diario de agua per cápita por parte de los habitantes, esta medido en l/hab*día.
- *Agua entubada dentro de la vivienda*: es el porcentaje de viviendas que cuentan con el servicio de agua por tubería dentro de la vivienda.
- *Red de alcantarillado*: es el porcentaje de abastecimiento de alcantarillado en la ciudad.
- *Área cultivada sin sistema de riego*: es el área cercana a la ciudad (periurbana) que no tienen acceso a riego, se mide en hectáreas.

Ambiental

- *DBO₅*: es la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales en cinco días, se mide en mg/l.
- *DQO*: es la demanda química de oxígeno de las aguas residuales, contiene a la DBO, se mide en mg/l.
- *Coliformes fecales*: es el grado en el que se encuentran los coliformes fecales que se encuentran en un cuerpo líquido, se mide en NMP/100 ml (número más probable).
- *Exceso de producción de agua potable*: es la producción excesiva de agua que se produce en la ciudad de Guaranda, se mide en m³/año.
- *Ahorro de agua con reutilización*: es el volumen de agua residual tratada que se reorienta hacia la agricultura, se mide en m³/año.
- *Protección de las fuentes*: esta variable cualitativa refleja la opinión de los actores sociales respecto a las medidas de protección de las fuentes hídricas en las tres alternativas.

Económico

- *Pérdidas (agua no contabilizada)*: es el porcentaje del nivel de pérdidas en el sistema de distribución ya sea por conexiones clandestinas, fugas técnicas, medidores obsoletos, etc.

- *Ingresos por recaudación*: son los ingresos respecto a los servicios de agua y alcantarillado, en la alternativa de reutilización se incluyen los ingresos por los servicios de agua residual tratada hacia los agricultores.
- *Promedio de la tarifa de servicio de agua y saneamiento*: es el costo de la tarifa para los usuarios respecto a cada una de las tres alternativas planteadas.
- *VAN*: representa el valor actual neto que vendría hacer los rendimientos que se generan por cada una de las tres alternativas.
- *TIR*: es la tasa interna de retorno de la inversión.

3.7 Metodología de criterios

3.7.1 Estructura de las dimensiones

Se desarrollan tres dimensiones para la evaluación del multicriterio: social, ambiental y económica. Con estas tres categorías se pretende agrupar los criterios de acuerdo a cada dimensión. Para simplificación en la escritura en las alternativas, la *situación actual* será la alternativa uno, *gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas* es la alternativa dos, y *gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales* es la alternativa tres.

3.7.2 Dimensión Social

Las variables de esta dimensión se relacionan al impacto social que tendrán las alternativas en la amplitud de la cobertura de servicios, nivel de consumo de agua, disminución de hectáreas sin riego.

Criterio 0: Consumo de agua urbano

De acuerdo al Plan Maestro de Agua Potable de Guaranda, el consumo per cápita de agua potable es de 157 l/hab*día. Según análisis del mismo estudio, el consumo se incrementaría a 210 l/hab*día. Si se considera la situación socioeconómica del lugar, resulta un consumo excesivo, por lo que se procedió a calcular el consumo promedio (180 l/hab*día).

Lo óptimo sería que el consumo tienda a reducirse, esto dependerá de las acciones de política en el tema de conservación y concientización de la población hacia el cuidado de los recursos hídricos, sobretodo en la generación de una cultura ciudadana de ahorro del agua.

Criterio 1: Red de alcantarillado

Para esta variable se establecieron metas de cobertura que una ciudad debería ostentar, es decir, una buena infraestructura de alcantarillado. Para la alternativa uno se contó con información proveniente del "Censo de Población y Vivienda" 2001 y 2010 realizada por el INEC; a partir de ésta se calculó la tasa de crecimiento para considerarlo como meta para ambas alternativas en el mediano plazo.

Tabla 4. Meta para la cobertura de alcantarillado

Indicador	Censo 2001	Situación actual: Censo 2010	Tasa de crecimiento*	Meta Alternativa dos y tres
Red de alcantarillado	89.8%	93%	3%	96%

*Período 2001-2010.

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEC, 2001, 2010).

Elaborado: por el Autor.

Criterio 2: Agua entubada dentro de la vivienda

Se cuenta con información proveniente del "Censo de Población y Vivienda 2001" y 2010 realizado por el INEC. Para la alternativa dos y tres se toma la meta que se encuentra en el "Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017" (SENPLADES, 2013), en el objetivo 3 ("Mejorar la calidad de vida de la población"); esto es alcanzar el 95% de viviendas con acceso a la red pública de agua.

Tabla 5. Meta para la cobertura de agua entubada dentro de la vivienda

Indicador	Censo 2001	Situación actual: Censo 2010	Tasa de crecimiento*	Meta alternativa dos y tres
Agua entubada por la red pública dentro de la vivienda	81.5%	82.3%	1%	95%

* Período 2001-2010.

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEC, 2001, 2010).

Elaborado: por el Autor.

Criterio 3: Área cultivada sin sistema de riego

Para esta variable se consideró aquellas zonas de impacto donde se encontrarían las plantas de tratamiento de aguas residuales (parte Este de la ciudad). Los sistemas de riego elegidos responden a la cercanía para la viabilidad técnica de la alternativa dos, debido a que se pretende realizar reutilización hídrica en zonas que no poseen riego. A continuación se presenta un cuadro en el que se muestran los sistemas de riego con las hectáreas que no son regadas.

Tabla 6. Área regada y no regada

Sistema de Riego	# Beneficiarios	# Usuarios	Área regada (ha)	Área sin riego (ha)	Área reglable (ha)	Cultivos regados	Ha	Época de siembra
Sistema de riego San Simón	200	50	50	150	200	Legumbres	5	abril
						Papa	30	mayo-junio
						Pastos	15	Invierno-Perenne
Sistema de Riego Santa Fé	2040	510	230	608	833	Maíz	1200	noviembre-diciembre
						Papa	20	mayo-junio
Sistema de Riego Tolapungo (Parroquia Gabriel Ignacio Veintimilla)	NA	36	5	30	40	Maíz	2	Febrero
						Papa	1	Enero
						Trigo	1	Marzo
Sistema de riego Vinchoa (Parroquia Gabriel Ignacio Veintimilla)	NA	320	120	180	300	Maíz	190	Noviembre-Enero
						Papa	40	Mayo-Junio
						Pastos	30	Enero-Marzo
						Hortalizas	20	Todo el año
Sistema de Riego Joyocoto	410	82	80	70	150	Maíz	18	Noviembre
						Papa	20	Octubre-Noviembre
						Pastos	15	Perenne
						Hortalizas	27	Junio-Julio
Total				1.038				

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado de Bolívar (2014).

Elaborado: por el Autor.

Para las alternativas uno y tres se consideró que el área sin riego en las zonas de impacto son 1.038 ha²⁸, ya que el objetivo no es la reutilización del agua. Considerando que en el inicio de la alternativa dos se planea integrar 300 ha que no poseen riego beneficiando a 300 usuarios. La cifra del área sin riego disminuiría a 738 ha, que no sería una cifra fija sino que iría disminuyendo acorde a la aceptación social que la alternativa dos vaya generando.

3.7.3 Dimensión Ambiental

En esta dimensión se encuentran aquellas variables que definen la parte de sustentabilidad del recurso hídrico en Guaranda. La sustentabilidad para la investigación pasa por la calidad del recurso una vez tratadas las aguas residuales, y por las nuevas oportunidades que brindaría la reutilización para la conservación de las fuentes. Además, ésta dimensión se enfoca en la eficiencia de la producción de agua potable en la planta de tratamiento, lo que genera externalidades positivas.

Criterio 4: Ahorro de agua con reutilización

El potencial de las aguas residuales y la escorrentía frente al agua suministrada representan el 42%, es decir, la sumatoria de ambas variables es 1.373.664 m³/año (ver

²⁸ Esta variable no considera el total de la superficie sin riego del Cantón Guaranda, solamente aquellos sistemas de riego que forma parte del área de impacto de la investigación para la gestión con reutilización, es decir, la zona peri-urbana de la ciudad.

tabla 3, correspondiente al año 2013), de los cuales el 80%²⁹ podrían ser reutilizados para la agricultura, el resto correspondería a lodos y agua que sería devuelta al río.

Tabla 7. Potencial de reutilización de aguas residuales

Indicador	Método	% de agua residual frente a agua suministrada	% del potencial para reutilización	Agua reutilizable potencial m ³ /año*	Agua reutilizable real m ³ /año**	% real de reutilización
Potencial de las aguas residuales y escorrentía	Aguas residuales + escorrentía /agua suministrada	42%	80%	1.098.931	158.400	14%

*El valor corresponde al 80% de agua reutilizable de 1.373.664 m³/año.

**Este valor es calculado a partir del consumo por parte de los usuarios agrícolas que correspondería a 44 m³/mes*usuario, con 300 usuarios iniciales.

Elaborado: por el Autor.

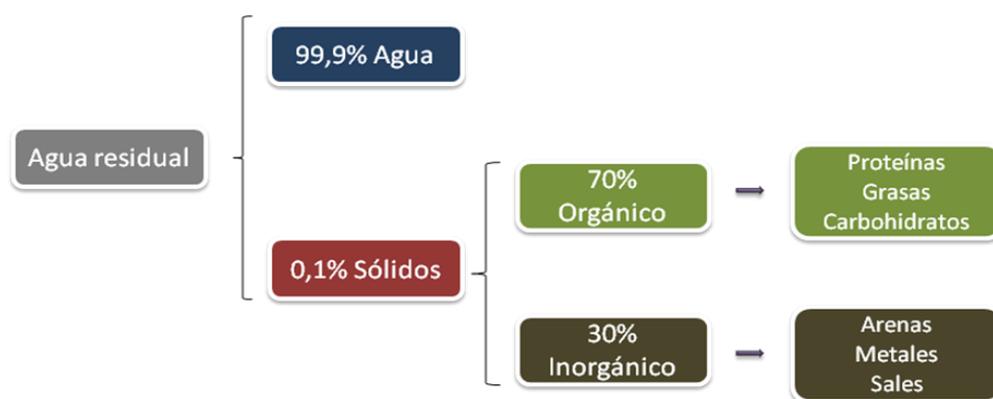
El ahorro que se generaría en las fuentes de agua por la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura es de 158.400 m³/año, es decir el 14% de la aguas residuales producidas en la ciudad.

Carga contaminante al río Guaranda

En su mayoría las aguas residuales arrojadas al río Guaranda proveniente de desechos domésticos que contaminan el río, ya que no existe tratamiento alguno previo a su deposición final. En el trabajo de Sorrequieta (2004) sobre aguas residuales se elabora una caracterización de líquidos cloacales que se describen a continuación:

²⁹ Este porcentaje quiere decir que del 100% de aguas residuales urbanas, el 80% de estas podrían ser reutilizables y tratadas, de acuerdo al Programa Hidrológico: Reutilización de aguas residuales (Plan especial Alto Guadiana: 2007)

Gráfico 10. Características de aguas residuales



Fuente: Sorrequieta, (2004: 6).

Elaborado: por el Autor.

Para conocer las cargas contaminantes depositadas en el río Guaranda provocadas por las aguas residuales sin tratamiento, es necesario conocer algunos indicadores como DBO₅, DOQ y coliformes fecales.

Criterio 5: DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno)

Es la “cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonacea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20° C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. [...] se relaciona directamente con la calidad del agua.” (Sorrequieta, 2004: 7).

Para la obtención de los valores correspondientes a los niveles de DBO₅ en el río Guaranda se obtuvieron de varias fuentes, como se explica a continuación.

Tabla 8. Características del DBO₅ en las tres alternativas

DBO₅	Alternativa uno*	Alternativa dos**	Alternativa tres**
	226.16 mg/l	20 mg/l	20 mg/l

*Fuente: Borja (2011: 78)

**Fuente: Plan Maestro de Alcantarillado de Guaranda (CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

Elaborado: por el Autor.

Los niveles de la DBO₅ en la alternativa uno supera la norma permisible de 100 mg/l, presente en el "Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente" (TULAS, 2003), libro VI, tabla 12.

En las alternativas dos y tres, se realiza tratamiento de las aguas residuales reduciendo la concentración de DBO₅ a 20 mg/l; luego de lo cual, las aguas podría ser devuelta al río o reutilizarlas para la agricultura.

Criterio 6: DQO (Demanda química de oxígeno)

La DQO “se usa para medir el O₂ equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente oxidante fuerte [...]. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica y se puede realizar en solo unas 3 horas.” (Sorrequieta, 2004: 7-8).

Los datos correspondientes para esta variable se explican a continuación:

Tabla 9. Características del DQO en las tres alternativas

DQO	Alternativa uno*	Alternativa dos**	Alternativa tres**
	533.33 mg/l	40 mg/l	40 mg/l

*Fuente: Borja (2011: 78)

**Fuente: Plan Maestro de Alcantarillado de Guaranda (CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

Elaborado: por el Autor.

Los niveles de la DQO en la alternativa uno supera la norma permisible (de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce) de 250 mg/l, en el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULAS, 2003), libro VI, tabla 12. En las alternativas dos y tres, se realizan tratamiento de las aguas residuales reduciendo la concentración de DBO₅ a 40 mg/l.

Criterio 7: Coliformes fecales

Los coliformes fecales provienen de contaminación fecal, la principal bacteria en éste compuesto orgánico es la *Escherichia Coli* (E. Coli), los parámetros para las tres alternativas se describen a continuación:

Tabla 10. Características de coliformes fecales en las tres alternativas

Coliformes fecales	Alternativa uno*	Alternativa dos**	Alternativa tres**
	14.000 mg/l	10 mg/l	10 mg/l

*Fuente: Plan Maestro de Alcantarillado de Guaranda (CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

**Basado en una remoción del 99.99% según la norma TULAS (2003).

Elaborado: por el Autor.

Los niveles máximos de coliformes fecales según la norma TULAS, libro VI, tabla 6, es de 1000 mg/l, para la agricultura, que es el objetivo de la alternativa dos para la reutilización de aguas residuales tratadas.

Criterio 8: Exceso de producción de agua potable

La oferta de la EMAPA-G supera a la demanda actual lo que hace insustentable su manejo. Lo óptimo para una ciudad no es incrementar su nivel de producción de agua, sino disminuirlo, de esta manera se justifica la ejecución de este criterio. Además, las pérdidas oscilan entre el 40% anual. Lo esencial sería que se disminuyan las pérdidas de agua en la urbe, para evitar un exceso de producción, y así cuidar de mejor manera las fuentes a través de su ahorro.

La oferta correcta más apegada a la realidad sería la diferencia entre el agua producida (3.384.167 m³/año) y las pérdidas (1.370.999 m³/año)³⁰, a partir de este concepto se parte para el cálculo de las tres alternativas. A continuación se establece tablas explicativas para cada alternativa.

Alternativa uno

Con la aclaración dicha en el párrafo anterior, actualmente existe un 23% de exceso de oferta de agua producida para el consumo de todas las actividades de la ciudad.

Tabla 11. Agua real producida y ofertada

Situación actual*	Valores
Agua producida m ³ /año	3.384.167
Pérdidas de agua m ³ /año	1.370.999
Agua total m ³ /año	2.013.168
Población usuaria del servicio 2014	25.519
Consumo de agua por persona m ³ /año *	65,7
Consumo poblacional con servicio m ³ /año	1.559.250
Exceso de oferta m³/año**	453.918
% Exceso de oferta	23%

* Se consideró un consumo de 180 l/hab*día.

** Diferencia entre el agua total y el consumo poblacional con servicio.

Elaborado: por el Autor.

Alternativa dos y alternativa tres

Para el cálculo de pérdidas de agua y del agua producida se procedió a proyectar a través de una tasa de crecimiento del 4% y 3% respectivamente (en base a la información ya proporcionada desde el 2009), dando un exceso del 24%. Como se explicó antes, el agua total corresponde a la diferencia entre el agua producida y las

³⁰ Proyectado a 2014 con datos a partir de 2009 a 2013 (ver tabla 3).

pérdidas de agua. Esta situación incremental continuaría para 2015 si no se toman acciones sobre el excedo de oferta por parte de la EMAPA-G:

Tabla 12. Agua real producida y ofertada proyectada

Situación proyectada*	Valores
Agua producida m ³ /año	3.482.070
Pérdidas de agua m ³ /año	1.439.586
Agua total m ³ /año	2.042.484
Población usuaria del servicio al 2015	24.132
Consumo de agua por persona m ³ /año*	65,7
Consumo poblacional servida m ³ /año	1.559.250
Exceso de oferta m³/año**	602.898
% Exceso de oferta	24%

* Se consideró un consumo de 180 l/hab*día.

** El exceso de oferta seguirá creciendo conforme aumente la población; así como el nivel de pérdidas de agua y la producción de agua.

Elaborado: por el Autor.

La alternativa dos ofrece la posibilidad no solamente de realizar tratamiento y reutilización de aguas residuales, sino que incorpora mecanismos de sustentabilidad, integrando al recurso agua hacia la conservación. La meta en esta variable por parte de la alternativa dos es mejorar la eficiencia de producción de agua a través de su reducción en 75%.

Tabla 13. Exceso de oferta: alternativa dos

Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas	Valores
Exceso de oferta m ³ /año	150.725

Elaborado: por el Autor.

La alternativa tres por su parte, no abarca un amplio ámbito respecto a la gestión hídrica como la alternativa dos, debido a que sólo se realizan tratamientos de aguas residuales y tareas operativas y cumplimiento de normativas nacionales ya establecida, por tanto se supone que se evitaría un exceso de oferta de 25 %.

Tabla 14. Exceso de oferta: alternativa tres

Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales tratadas	Valores
Exceso de oferta m ³ /año	452.174

Elaborado: por el Autor.

Criterio 9: Protección de las fuentes

Las medidas que se han dado para el cuidado de las fuentes han sido parciales, las principales amenazas que se generan para el recurso hídrico en la zona es la expansión agrícola y ganadera, deforestación, quema de pastizales, sobre-explotación del recurso, factores exógenos como el cambio climático (sequías), crecimiento demográfico desordenado, entre otros. Para la evaluación de esta variable cualitativa se estableció la escala ordinal: *Extremadamente alta, muy alta, alta, moderadamente alta, más o menos, moderadamente baja, baja, muy baja, extremadamente baja*. Los valores presentados en éste criterio corresponden a la opinión de los actores sociales.

Respecto a la alternativa uno, los actores sociales mencionaron que se han emprendido planes de forestación en las zonas altas donde se encuentran las fuentes de agua que abastecen a los sistemas de agua potable y riego. Sin embargo, no se han efectuado políticas que mitiguen los niveles de contaminación y actividades antropogénicas que ponen en riesgo la sustentabilidad, por lo que la situación actual recibe una calificación "muy baja".

La alternativa dos, entre una de sus prioridades es mejorar la sustentabilidad del recurso, a través de la creación de políticas que viabilicen medidas para proteger las fuentes de agua de la ciudad. Estas medidas pueden ser potencializar la reforestación, minimizar la expansión de la frontera agrícola y ganadera con prácticas más amigables con el ambiente que controlen los niveles de contaminación dirigida hacia los suelos y el agua; por lo que la mayoría de los actores califican a esta alternativa como "muy alta".

La alternativa tres se centra en la gestión hídrica orientada hacia el tratamiento de aguas residuales. El cuidado de las fuentes de agua es una prioridad para esta alternativa, con medidas como reforestar ciertas áreas vulnerables, ésta alternativa corresponde a mejorar el modelo de gestión, recibiendo una calificación por la mayoría de actores sociales como "alta". Las expresiones cualitativas de las alternativas quedaron expresado de la siguiente manera:

Tabla 15. Expresiones cualitativas: protección de las fuentes

Expresión verbal	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Extremadamente alta			
Muy alta		Gestión hídrica con reutilización	
Alta			Gestión hídrica con tratamiento
Moderadamente alta			
Más o menos			
Moderadamente baja			
Baja			
Muy baja	Situación actual		
Extremadamente baja			

Fuente: en base a entrevistas realizadas a los actores sociales para la gestión hídrica de Guaranda (ver anexo 3).

Elaborado: por el Autor.

3.7.4 Dimensión Económica

En esta parte se incluyen aquellas variables que representan la medición monetaria, se evaluará cuál de las tres alternativas es más favorable de acuerdo a indicadores monetarios como el VAN o TIR, respaldado con un análisis de ingresos y nuevas tarifas.

Criterio 10: Pérdidas (agua no contabilizada)

Para la realización de esta variable se estableció metas de acuerdo a experiencias de ciudades como Cuenca, que en el año 2000 tenía pérdidas del 50% y que en 2014 paso al 25%. Las pérdidas de agua en Guaranda para el año 2013 fueron alrededor del 40% (1.305.680 m³/año), lo que representa una pérdida de ingresos de USD. 917.095 al año; por ello el objetivo de la alternativa dos y tres es procurar minimizar las pérdidas de agua.

El agua no contabilizada representa alrededor del 40% para la ciudad, ya sea por problemas de distribución o conexiones clandestinas. Una de las prioridades de la alternativa dos, no solamente se centra en la reutilización del recurso hídrico como mecanismo de sustentabilidad, sino que se orienta a la disminución de pérdidas de agua urbana a través de buenas prácticas y que son necesarias para garantizar un buen servicio, como:

- Operación y mantenimiento de redes: cambio de las redes que han cumplido su vida útil, realizar mantenimientos continuos a largo plazo, utilización de materiales durables, catastro de redes confiable (GIS), equipamiento adecuado, etc.
- Macromedición: telemetría para todos los centros de reserva, sistema de control y monitoreo de reservas, estadística mensual de caudales y niveles de reservas, etc.
- Micromedición: requerimiento de laboratorio de medidores, políticas de cambio de medidores, 100% medidores reubicados, seguimiento a grandes consumidores, especificaciones técnicas para compra de unidades de micromedición, aplicación de normativas, obtención de curvas de consumo intra-domiciliar para definición de políticas de operación de medidores. (ETAPA, 2014)

Estas medidas deben implantarse en la nueva gestión hídrica con reutilización, por un lado se genera un ahorro importante de agua al evitar las pérdidas. Se plantea metas en el mediano plazo para las alternativas de acuerdo a experiencias de empresas como ETAPA que han logrado importantes avances en disminuir los niveles de pérdidas hídricas urbanas, estos supuestos son:

- La situación actual (alternativa uno) corresponde el 39,7% de pérdidas de agua que no se contabilizan por la EMAPA-G.
- Reducir las pérdidas de agua de la ciudad al 25% (alrededor de 822.254 m³/año) para la alternativa dos.
- Reducir las pérdidas de agua de la ciudad al 35% (alrededor de 1.151.155 m³/año) para la alternativa tres.

Criterio 11: Ingresos por recaudación

Para el cálculo se tomó en cuenta sólo los ingresos de agua potable, alcantarillado y adicionalmente los ingresos por reutilización de aguas residuales tratadas para la alternativa dos. Se tuvo información adicional proporcionada por la EMAPA-G de los valores recaudados para el año 2013 correspondiente a la alternativa uno es de USD. 392.068. Para la alternativa dos y tres se procedió a realizar la proyección mensual en base al año 2013 correspondiente al volumen de agua recaudado por usuarios del sistema, considerando una tasa de crecimiento del volumen recaudado del 3% anual.

Para la alternativa dos se tiene un ingreso adicional por la tarifa cobrada correspondiente a la reutilización de aguas residuales tratadas por el sector agrícola, esto se explica en la siguiente tabla:

Tabla 16. Agua reutilizada vs. Ingresos agua reutilizable

Agua reutilizada m ³ /año*	Ingresos agua reutilizable USD.
2.061.811	27.216

* Se calculó el promedio de los usuarios en 25 años que dura la ejecución, con un consumo de 44 m³/mes*usuario, con una tarifa de USD. 0,09.

Elaborado: por el Autor.

Uniando todos los ingresos por las actividades de agua potable, alcantarillado y reutilización se obtiene:

Tabla 17. Ingresos de agua potable, alcantarillado y reutilización de agua residual

Volumen m ³ recaudado en 2013	Volumen agua reutilizada m ³ /año	Ingresos agua potable USD.*	Ingresos alcantarillado USD.**	Ingresos de agua reutilizable USD.***	Ingresos Totales USD.
2.009.105	2.061.811	301.366	102.464	27.216	431.046

*Tarifa de USD 0,15.

**Tarifa de USD. 0,05.

***Se calculó a partir de un consumo mensual de 44 m³/ha*usuario, en promedio al finalizar el periodo de 25 años se tienen 968 usuarios, asumiendo que cada uno tiene una hectárea, con tarifa de USD. 0,09.

Elaborado: por el Autor.

Para la alternativa tres se realiza el mismo procedimiento con la diferencia de excluir los ingresos de reutilización:

Tabla 18. Ingresos de agua potable y alcantarillado

Volumen m ³ recaudado en 2013	Ingresos agua potable USD.*	Ingresos alcantarillado USD.**	Total USD.
2.009.105	301.366	102.464	403.830

*Tarifa de USD 0,15.

**Tarifa de USD. 0,05.

Elaborado: por el Autor.

Criterio 12: Promedio de tarifa de servicios de agua y saneamiento

Un estudio realizado por el "Plan de Desarrollo del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico" (Yepes y Gómez, 2002), menciona que en el año 2001 las tarifas que se cobraban a nivel nacional solamente cubrían 2/3 de los costos de operación y mantenimiento del sistema de agua y saneamiento. Para subsanar este déficit se ha requerido que el Gobierno Central, Gobiernos Provinciales y Municipalidades, realicen

transferencias para cubrir la brecha que existe en los costos de operación y mantenimiento (ETAPA, 2014).

La situación en Guaranda es similar, para el cálculo de esta variable se consideró solamente los servicios de agua y alcantarillado, excluyendo las tarifas cobradas por las festividades de Carnaval, Recolección de Basura, Gastos Administrativos e intereses por mora. Para el caso de esta variable se va a considerar las tarifas de agua potable y alcantarillado³¹.

Para el sector de alcantarillado se procedió a proyectar el número de predios (9.604) de la ciudad para 25 años con una tasa de crecimiento de 1,024% anual³². A partir de cálculos se establece una tarifa por el nuevo servicio de USD. 0,09 para ambas alternativas (la tarifa actual es de USD. 0,05)³³. El promedio de la tarifa para la alternativa uno se describe a continuación:

Tabla 19. Promedio tarifario para la situación actual

Alternativa uno	1 a 10 m3	11 a 20 m3	21 a 30 m3	31 a 50 m3	51 a + m3	Promedio
Doméstica	0,16	0,18	0,2	0,211	0,231	
Productiva	0,2	0,211	0,22	0,231	0,24	0,21
Oficial	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	

Fuente: EMAPA-G (2013).

Elaborado: por el Autor.

Tabla 20. Promedio tarifario para la alternativa dos y tres

Alternativas Dos y tres	1 a 10 m3	11 a 20 m3	21 a 30 m3	31 a 50 m3	51 a + m3	Promedio*
Doméstica	0,21	0,225	0,24	0,248	0,263	
Productiva	0,24	0,248	0,255	0,263	0,27	0,24
Oficial	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	

*Incluido el incremento de USD. 0,05 a USD. 0,09.

Fuente: EMAPA-G (2013).

Elaborado: por el Autor.

³¹ Las tarifas de agua potable permanecen iguales, solamente varia la tarifa cobrada por el sistema de alcantarillado, ya que en las alternativas dos y tres se construyen plantas de tratamientos más grandes, lo cual involucra un incremento tarifario.

³² Como se explicará en la variable de los flujos económicos, en la alternativa dos y tres se estableció un monto de inversión de USD. 14.124.627 y de USD. 13.374.627 respectivamente (en base al Plan Maestro de Alcantarillado de Guaranda, 2007).

³³ Hay que aclarar que las tarifas aquí calculadas corresponden solamente a los servicios de agua y alcantarillado de la ciudad, no incluye la tarifa adicional por la reutilización de aguas residuales tratadas, ya que esa tarifa corresponde solo a los usuarios agrícolas que se beneficiarían de este nuevo servicio.

Las tarifas calculadas para las dos alternativas solo refleja el incremento de alcantarillado, excluyendo al sector de agua potable, ya que se culminó la primera parte del Plan Maestro de Agua Potable, y no forma parte del objetivo del multicriterio analizar este sector. El problema más grave se genera en la deposición final de las aguas residuales urbanas producidas.

Criterio 13 y 14: Cálculo del VAN y TIR

Para el correcto análisis se procedió a calcular los flujos económicos VAN y TIR que generarían las tres alternativas. Para las alternativas dos y tres, el objetivo es dotar a la ciudad de un sistema de alcantarillado eficiente a partir del tratamiento de aguas residuales y la construcción de colectores que permitan el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado. La diferencia de los montos de inversión para la alternativa dos, es que se centra en una nueva red de distribución de reutilización de aguas residuales.

Alternativa uno

Para conocer el VAN y TIR de esta alternativa, se tomó como base el Plan Anual 2013 de la EMAPA-G que no fue cumplido, y lo cual fue constatado por el informe de auditoría por parte de la Contraloría General del Estado (2013). El monto de inversión que debía realizarse se detalla a continuación:

Tabla 21. Construcción planta de tratamiento en Guaranda

Nro.	Descripción	Valor (USD)
1	Construcción del colector Marginal A (Quebrada Negroyaco)	1.353.681
2	Construcción del colector Marginal B (Quebrada Tomabela)	1.665.582
3	Construcción de la descarga del pozo 090 a colector Q. Tomabela	226.760
4	Construcción de la planta de tratamiento de Guanujo	53.095
5	Rehabilitación de la planta de tratamiento de Guaranda	395.535
Total		3.694.653

Fuente: Contraloría General del Estado, 2013.

Tabla 22. Costo anual de operación y mantenimiento para la alternativa uno

O&M	Mano de obra calificada*	Mano de obra no calificada	Material Nacional	Material importado	Combustible	Total anual USD.
	16.800	256	17.196	52.262	1.500	88.014

*Personal fijo, que involucra a dos operarios con un salario de USD. 700.

Fuente: en base a CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

Elaborado: por el Autor.

Por tanto, el monto utilizado para la alternativa uno corresponde a USD. 3.694.653 millones; dando un VAN de USD. 1.330.428 millones con una tasa de descuento económica del 12%, y un TIR de 16,53%.

Alternativa dos

Se utilizó la misma metodología que la alternativa anterior, la diferencia es el monto de la inversión que corresponde a USD. 14.124.627 millones, una parte de este valor contiene:

- Ampliación del sistema de riego, a los 300 usuarios al inicio del proyecto, asumiendo que cada uno tiene 1 hectárea con una inversión de 2.500 USD/ha.
- Construcción de los colectores e interceptores en el sector de Guanujo, parte baja de la Universidad Estatal de Bolívar, Sur de la ciudad. Los costos de operación y mantenimiento de proyecto se detallan a continuación:

Tabla 23. Costo anual de operación y mantenimiento para la alternativa dos

O&M	Mano de obra calificada*	Mano de obra no calificada	Material Nacional	Material importado	Combustible	Total anual USD.*
	42.000	1.889	33.060	52.911	10.000	139.859

*Personal fijo, que involucra a cinco operarios con un salario de USD. 700.

Fuente: en base a CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

Elaborado: por el Autor.

Se tienen dos tipos de ingresos o beneficios generados por las tarifas del cobro de alcantarillado por un lado, y por otro los beneficios generados por las tarifas cobradas a los agricultores por el uso de aguas residuales regeneradas, que podrían ser usuarios con riego y sin riego.

Tabla 24. Tarifa, ingresos y consumo para la alternativa dos

Tarifa de riego USD*	Promedio de ingresos USD**	Usuarios***	Consumo de riego por usuario en m ³ /mes*usuario	Consumo total m ³ /año
0,09	27.216	300	44	158.400

* La tarifa de riego según SENAGUA para la provincia Bolívar es de USD. 1,85 m³/año, lo que mensualmente sería USD. 0,15 m³/mes. El supuesto de la tarifa se aplicó analizando que el agua residual tratada recibe un castigo por ser un recurso hídrico que ya fue utilizado y que tuvo que pasar por un proceso para ser sanado.

** Promedio de ingresos para los 25 años de vida útil.

*** Se empieza con 300 usuarios con un crecimiento anual del 5%, al finalizar el periodo de 25 años de vida útil del proyecto se tendría 968 usuarios.

Elaborado: por el Autor.

En el cálculo de los beneficios del proyecto no considera los beneficios indirectos del proyecto, es decir, el ahorro que se generaría hacia los agricultores del nuevo sistema de gestión por disminuir el uso de fertilizantes, lo cual generaría una ganancia social más

allá de los resultados económicos de esta alternativa. El VAN del proyecto es de USD. 817.601 y el TIR de 13%. Los costos anuales de operación y mantenimiento son de USD. 139.859.

Alternativa tres

Se utiliza la misma metodología con un monto de inversión de USD. 13.374.627 (CORCONSUL. LTDA, 2007), la diferencia es que no existen ingresos por parte de la tarifa generada del agua que los agricultores generarían. Los costos de operación y mantenimiento corresponden a:

Tabla 25. Costo anual de operación y mantenimiento para la alternativa tres

O&M	Mano de obra calificada*	Mano de obra no calificada	Material Nacional	Material importado	Combustible	Total anual*
	33.600	1.889	33.060	52.911	10.000	131.459

* Personal fijo, que involucra a cuatro operarios con un salario de USD. 700.

Fuente: en base a CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b).

Elaborado: por el Autor.

Esta alternativa es muy similar a la alternativa uno, la diferencia es que no se procede a la reutilización para el sector agrícola, el VAN es USD. 1.470.394 y el TIR es 13,43%.

3.8 Análisis de resultados del método NAIADE

3.8.1 Matriz de Impacto

La matriz de impacto recoge la información de las tres dimensiones con los quince criterios, divididos en cuatro variables para la dimensión social, seis para el ambiental y cinco para el económico. A continuación se muestra la tabla a más detalle.

Tabla 26. Matriz de Impacto

Dimensión	Criterio Social	Tipo	Medida	Objetivo
Social	Consumo de agua urbano	Cuantitativa	l/hab*día	Min
	Red de alcantarillado	Cuantitativa	%	Max
	Agua entubada dentro de la vivienda	Cuantitativa	%	Max
	Área cultivada sin sistema de riego	Cuantitativa	Ha	Min
Ambiental	Ahorro de agua con reutilización	Cuantitativa	m ³ /año	Max
	DBO ₅	Cuantitativa	mg/l	Min
	DQO	Cuantitativa	mg/l	Min
	Coliformes fecales	Cuantitativa	NMP/100 ml*	Min
	Exceso de producción de agua potable	Cuantitativa	m ³ /año	Min
	Protección de las fuentes	Cualitativa	Escala	Max

Económico	Pérdidas (agua no contabilizada)	Cuantitativa	%	Min
	Ingresos por recaudación	Cuantitativa	\$	Max
	Promedio de tarifa de servicios de agua y saneamiento	Cuantitativa	\$/m3	Min
	VAN	Cuantitativa	\$	Max
	TIR	Cuantitativa	%	Max

*NMP significa el "número más probable" de coliformes fecales en un cuerpo líquido.

Elaborado: por el Autor.

3.8.2 Análisis por cada dimensión

Dimensión Social

Esta dimensión analiza cuatro variables relacionadas al contexto social de Guaranda: *consumo de agua urbano, red de alcantarillado, agua entubada dentro de la vivienda y área cultivada sin sistema de riego*. Se combinó variables de cobertura del sistema con un contexto urbano rural, que muestra el área cultivada que no poseen riego en las zonas periurbanas. Los resultados reflejan que la mejor alternativa es la gestión con reutilización de aguas residuales, pues el reuso de estos recursos lograría abastecer a una parte importante de agricultores que sufren de problemas de riego en épocas de escases del recurso y que no poseen riego.

Tabla 27. Dimensión social

Criterio Social	Tipo	Medida	Objetivo	Umbral de indiferencia				Situación Actual	Alternativas	
				u =	u ~	u < & u >	u >> & u <<		Gestión hídrica con reutilización de aguas	Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales
Consumo de agua urbano*	Cuantitativa	lts/hab*día	Min	12%	23%	24%	42%	157	180	180
Red de alcantarillado	Cuantitativa	%	Max	0,30	0,50	0,70	1,20	93	96	96
Agua entubada dentro de la vivienda	Cuantitativa	%	Max	1,25	2,40	2,60	5,00	82,3	95	95
Área cultivada sin sistema de riego*	Cuantitativa	ha	Min	12%	23%	24%	42%	1.038	738	1.038

Nota: a las variables con * se les aplica la transformación a logaritmo natural³⁴. Para cambiar los umbrales a valores porcentuales se aplica la fórmula $\ln(1 + x\%)$.

Elaborado: por el Autor.

En la variable del consumo de agua urbano, se consideró una perspectiva a futuro, ya que la tendencia hacia los hábitos de consumo va variando en el tiempo, pues dependerán de muchos factores como el nivel socioeconómico de los pobladores. En

³⁴ Cuando se aplica la transformación de logaritmo para dos números, se realiza la siguiente diferencia:

$$\ln(x + \Delta) - \ln(x) = \ln\left(\frac{x + \Delta}{x}\right) \approx \Delta\%x$$

De donde se concluye que la diferencia de las variables es aproximadamente igual a la variación porcentual de la variable x (Rafael Burbano, 2015, entrevista).

este contexto el consumo de la alternativa de situación actual sería el más deseable que las demás alternativas.

Dimensión Ambiental

Esta dimensión refleja el contexto de sustentabilidad y conservación que se representa con los siguientes criterios: *DBO₅, DQO, coliformes fecales, exceso de producción de agua potable, ahorro de agua con reutilización, protección de las fuentes.*

Claramente en los criterios de DBO₅, DQO y coliformes fecales, las alternativas de gestión con reutilización y tratamiento reflejan una notable mejoría respecto a la situación actual en los niveles permitidos de acuerdo a la norma TULAS, libro VI. La situación actual no realiza ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales producidas en la ciudad, lo que ocasiona que los niveles de contaminación sean altos y perjudiciales para cualquier actividad humana aguas abajo.

Esta dimensión muestra una variable de eficiencia, por llamarla así, ya que se evidencia que actualmente existe un exceso de producción de agua potable, ocasionando que el manejo hídrico no sea sustentable en lo que respecta a la optimización y ahorro. La gestión con reutilización es una alternativa orientada hacia la sustentabilidad, pues el fin de ésta es enfocarse en lo que respecta a la eficiencia desde la producción, y, en el manejo adecuado de la demanda. En este caso la oferta se está sobredimensionado para las necesidades reales de la población, por lo que la gestión con reutilización intensificaría un mejor uso del recurso.

La gestión con reutilización logra un doble beneficio pues permite tener un ahorro importante de agua, y, por ende genera una cultura de concientización hacia el cuidado de las fuentes hídricas de la zona, generando un efecto revote de doble vía para mejorar la sustentabilidad en el manejo del recurso hídrico en Guaranda.

Tabla 28. Dimensión Ambiental

Criterio Social	Tipo	Medida	Objetivo	Umbral de indiferencia				Situación Actual	Alternativas	
				u ==	u ~	u < & u >	u >> & u <<		Gestión hídrica con reutilización de aguas	Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales
DBO ₅ *	Cuantitativa	mg/l	Min	12%	23%	24%	42%	226.16	20	20
DQO*	Cuantitativa	mg/l	Min	12%	23%	24%	42%	533.33	40	40
Coliformes fecales*	Cuantitativa	NMP/100 ml	Min	12%	23%	24%	42%	14000	10	10
Exceso de producción de agua potable*	Cuantitativa	m ³ /año	Min	12%	23%	24%	42%	453.918	150.725	452.174
Ahorro de agua con reutilización*	Cuantitativa	m ³ /año	Max	12%	23%	24%	42%	0.00	158.400	0.00
Protección de las fuentes	Cualitativa	escala	Max	-	-	-	-	Muy baja	Muy alta	Alta

Nota: a las variables con * se les aplica la transformación a logaritmo natural. Para cambiar los umbrales a valores porcentuales se aplica la fórmula $\ln(1 + x\%)$.

Elaborado: por el Autor.

Dimensión Económica

Los criterios considerados para evaluar la dimensión económica fueron: *pérdidas (por agua no contabilizada)*, *ingresos por recaudación*, *promedio de tarifa de servicios de agua y saneamiento*, *VAN* y *TIR*.

El 39,7% del agua potabilizada se desperdicia en el sistema al año 2013, sin embargo, personal de la misma institución aseguran que este porcentaje asciende al 54% en pérdidas, es decir, una diferencia de 14 puntos porcentuales a lo que se investigó. El problema es muy agudo ya que el agua tratada para el consumo humano se desperdicia por diversas deficiencias técnicas en la red de distribución, por no poseer micro y macro medidores, por medidores que han cumplido su vida útil. La alternativa con gestión de reutilización se orienta a la eficiencia, y la meta a alcanzar se enfoca en 25% respecto a las pérdidas. Los ingresos propios de la empresa por tasas de recaudaciones de los servicios de agua y alcantarillado, incrementarían tanto para la alternativa con reutilización como para la alternativa con tratamiento, ya sea por el cobro de la tarifa por el uso de aguas residuales tratadas o por la mejora de eficiencia en el sistema de saneamiento.

Esta dimensión refleja algunos argumentos referentes a la importancia de las variables económicas. Si la metodología de ésta investigación sería un análisis de costo-beneficio, lo mejor sería permanecer en la alternativa de situación actual, ya que las variables económicas VAN, TIR y promedio de la tarifa favorecen a la alternativa uno. El problema es que el análisis costo-beneficio no dimensiona las cuestiones ambientales

y sociales centrándose en una medición puramente crematística. La evaluación multicriterio permite enlazar criterios que involucran la sustentabilidad como fue demostrado en éste trabajo.

Tabla 29. Dimensión Económica

Criterio Social	Tipo	Medida	Objetivo	Umbral de indiferencia				Situación Actual	Alternativas	
				u =	u ~	u < & u >	u >> & u <<		Gestión hídrica con reutilización de aguas	Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales
Pérdidas (agua no contabilizada)	Cuantitativa	%	Min	1,45	2,80	3,00	5,80	39,7	25	35
Ingresos por recaudación*	Cuantitativa	\$ en miles	Max	12%	23%	24%	42%	392.068	431.046	403.830
Promedio de tarifa de servicios de agua y saneamiento*	Cuantitativa	\$/m ³	Min	12%	23%	24%	42%	0,21	0,24	0,24
VAN*	Cuantitativa	\$ en miles	Max	12%	23%	24%	42%	1.330.428	817.601	1.470.394
TIR	Cuantitativa	%	Max	0,004	0,01	0,01	0,02	16,53%	13%	13,43%

Nota: las variables con * son "ilimitadas" y se les aplica la transformación a logaritmo natural. Para cambiar los umbrales a valores porcentuales se aplica la fórmula $\ln(1 + x\%)$.

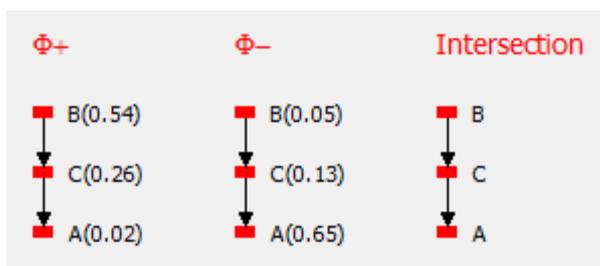
Elaborado: por el Autor.

3.8.3 Resultados del AMC

Para el análisis del multicriterio se procedió a trabajar con logaritmos en aquellas variables "ilimitadas" (las que no son porcentajes) cuantitativas para la construcción de umbrales. Lo que simplifica los valores grandes a porcentuales, transformando los valores a una medida más eficiente de medición. Los resultados en el gráfico 11 presentan los valores de los índices $\Phi+$ y $\Phi-$ para las tres alternativas. El índice $\Phi+$ ordena de la más fuerte a la menos fuerte, siendo la alternativa B la que supera a C y A, con un grado de 0.54. Por su parte, $\Phi-$ muestra un orden de la menos débil a la más débil, siendo B la menos débil con un valor de 0.05.

El índice $\Phi+$ mide la fortaleza de una alternativa; es decir, en qué grado una alternativa es mejor que las otras. El índice $\Phi-$ mide la debilidad de una alternativa; es decir, en qué grado una alternativa es peor que las otras.

Gráfico 11. Resultados del AMC



Elaborado: por el Autor.

La intersección muestra que la alternativa B (gestión hídrica con reutilización) es mejor que la C (gestión con tratamiento de aguas residuales) y mejor que la A (situación actual), corroborando la comprobación de la hipótesis. Se puede asumir que una gestión hídrica integral orientada hacia la reutilización de aguas residuales en el sector agrícola mejora la sustentabilidad del agua. Se optimiza el recurso de aguas residuales urbanas tratadas orientándolas hacia otros sectores demandantes de grandes cantidades hídricas, lo cual genera un ahorro en las fuentes de abastecimiento, ya sea superficiales o subterráneas.

Esta nueva visión de gestión muestra que es posible regenerar una parte del *output* del flujo entrópico del agua, a partir de su redireccionamiento hacia el *input*, lo que permite que el agua tratada ingrese nuevamente al sistema para cumplir otras funciones.

A pesar que en la alternativa B³⁵ las variables económicas presentan un menor VAN y TIR, no es un obstáculo para constatar que en otras dimensiones (ambiental y social) representa una opción acertada para mejorar la sustentabilidad hídrica. Por otro lado, se incrementa la satisfacción social a través de una mejor cobertura de servicios de agua y alcantarillado. Además, se genera un beneficio económico indirecto hacia los agricultores por el menor uso de fertilizantes para los cultivos, ya que las aguas regeneradas con un tratamiento secundario presentan nutrientes, nitrógeno y fósforo, importantes para el desarrollo de la agricultura, siempre y cuando no se exceda químicamente el fósforo y nitrógeno.

3.8.4 Comparación en pares de las alternativas

La comparación de pares permite entender las relaciones que tiene una alternativa frente a otra. Para un correcto entendimiento de los resultados obtenidos por el NAIADE, se procede a explicar la nomenclatura de los criterios para una representación más adecuada:

³⁵ Sin dejar que esto impida la viabilidad de su implementación, ya que en ambos indicadores presenta números positivos como se demostró anteriormente.

Tabla 30: Nomenclatura descriptiva de criterios

Nomenclatura	Criterios
Dimensión social	
C0	Consumo de agua urbano
C1	Red de alcantarillado
C2	Agua entubada dentro de la vivienda
C3	Área cultivada sin sistema de riego
Dimensión ambiental	
C4	Ahorro de agua con reutilización
C5	DBO ₅
C6	DQO
C7	Coliformes fecales
C8	Exceso de producción de agua potable
C9	Protección de las fuentes
Dimensión económica	
C10	Pérdidas (agua no contabilizada)
C11	Ingresos por recaudación
C12	Promedio de tarifa de servicios de agua y saneamiento
C13	VAN
C14	TIR

Elaborado: por el Autor.

El NAIADE permite comparar en cada indicador basándose en seis relaciones:

>> "mucho mejor que"

<< "mucho peor que"

> "mejor que"

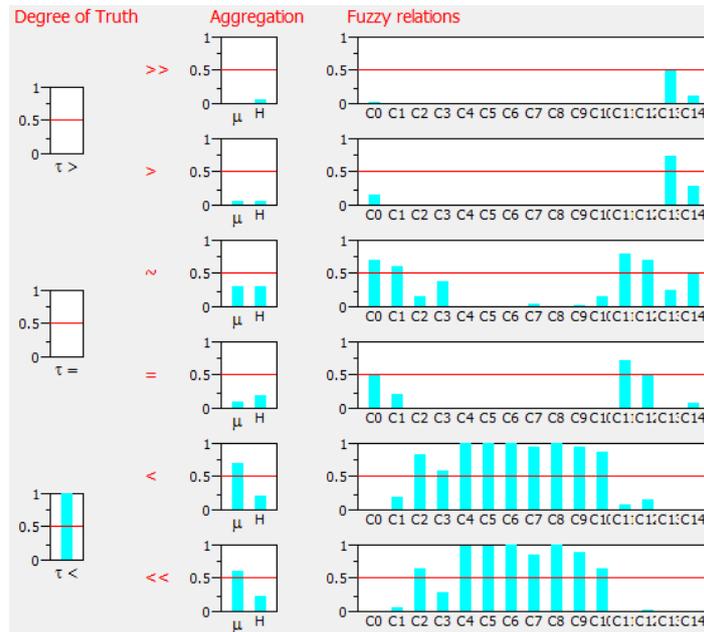
< "peor que"

~ "aproximadamente igual a"

= = "igual a"

Los resultados en forma gráfica respecto a las alternativas se presentan a continuación:

Gráfico 12. Comparación en pares Situación actual vs. Gestión hídrica con reutilización



Elaborado: por el Autor.

Dimensión social

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C0, C1, C2, C3. Respecto a C0 y C1, la alternativa uno está "aproximadamente igual" a la alternativa dos. En el criterio C2, la situación actual se encuentra levemente "mucho mejor" que la alternativa dos. En el criterio C3, la alternativa uno se encuentra "mejor" que la alternativa dos.

Dimensión Ambiental

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C4, C5, C6, C7, C8, C9. En todos los criterios antes mencionados la situación actual se encuentra "mucho peor que" y "mejor que" la alternativa con gestión con reutilización de aguas residuales, lo que evidencia que ambientalmente la ciudad requiere un cambio en el modelo de gestión hídrica.

Dimensión Económica

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C10, C11, C12, C13, C14. Respecto al criterio C10 la situación actual se encuentra "mucho peor que" y "peor que" la alternativa dos. En los criterios C11 y C12, la situación actual está "igual a" y "aproximadamente igual a" a la alternativa dos, siendo una dimensión en el que la situación actual relativamente sería mejor que las otras alternativas.

Gráfico 13. Comparación en pares Situación actual vs. Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales



Elaborado: por el Autor.

Dimensión social

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C0, C1, C2, C3. Respecto a C0 y C1, la situación actual es "aproximadamente igual a" la alternativa tres. En C2 la alternativa uno es "mucho mejor que" y "mejor que" la alternativa tres. En el criterio C3 ambas alternativas son "igual a" y "aproximadamente igual a", es decir son las mismas.

Dimensión ambiental

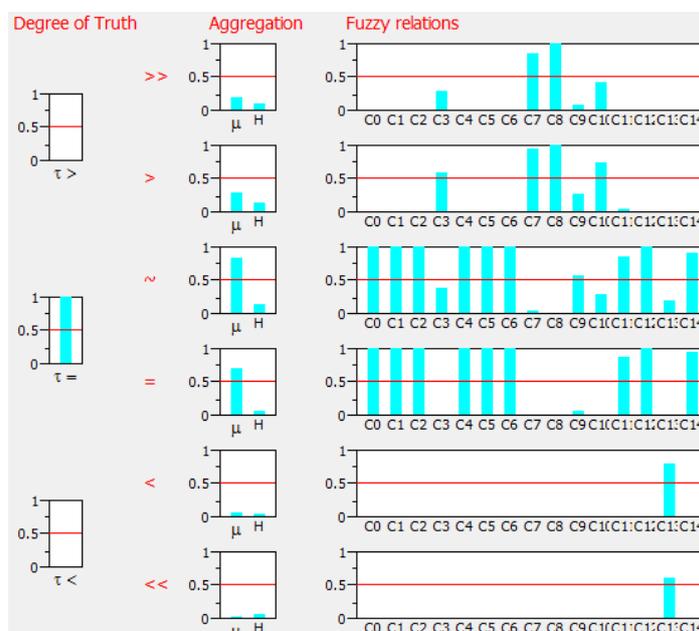
Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C4, C5, C6, C7, C8, C9. En los criterios C4, C5 y C6, la alternativa uno se encuentra "mucho peor que" y "peor que" la alternativa tres. En C7 y C8 ambas alternativas son "iguales a". En C9 la situación actual "mucho peor que" y "peor que" la alternativa tres, lo que refleja que es indispensable practicar una política de tratamiento de aguas residuales.

Dimensión económica

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C10, C11, C12, C13, C14. En C10 la situación actual es "aproximadamente igual a" la alternativa tres. En C11 ambas alternativas son iguales; en cambio en C12 la situación actual está "aproximadamente igual a" la alternativa tres. En el criterio C13, ambas alternativas se encuentran "iguales a" y "aproximadamente iguales a". En C14 las dos alternativas se encuentran

"aproximadamente igual a", es decir, conservan valores muy cercanos con similares características.

Gráfico 14. Comparación en pares Gestión hídrica con reutilización vs. Gestión con tratamiento de aguas residuales



Elaborado: por el Autor.

Dimensión social

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C0, C1, C2, C3. Respecto a C0, C1 y C2, ambas alternativas prácticamente son iguales. En C3 la alternativa dos es levemente "mejor que" la alternativa tres, por lo que aplicar una política de reutilización y otra solamente de tratamiento es socialmente conveniente.

Dimensión ambiental

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C4, C5, C6, C7, C8, C9. Los criterios C4, C5 y C6, son prácticamente iguales en ambas alternativas. En C7 y C8, la alternativa dos está "mejor que" y "mucho mejor que" la alternativa tres, debido a que la opción con reutilización tiene como parámetro principal la conservación del recurso como mecanismo de sustentabilidad.

Dimensión económica

Los criterios correspondientes a esta dimensión son: C10, C11, C12, C13, C14. En C10 la alternativa dos se encuentra "mejor que" la alternativa tres. En los criterios C11 y C12, ambas alternativas conservan valores muy similares e iguales. En C13 la

alternativa dos está "peor que" la alternativa tres; y en C14 ambas alternativas tienen valores similares. Esto se debe a que el mecanismo para realizar reutilización es más costosa que una política con tratamiento. La ganancia social en cuanto a beneficios directos como indirectos es superior a realizar una política que sólo contemple el tratamiento de aguas residuales.

3.9 Matriz de Equidad

El método NAIADE permite realizar un análisis de equidad a partir de la matriz de equidad que da una indicación lingüística de la decisión de los grupos de interés para cada una de las alternativas (NAIADE, 1996: 10); con ésta información se construye una matriz de similitud³⁶. La matriz de similitud identifica cuán cerca o lejos están las opciones de los distintos grupos. El resultado de un algoritmo matemático que utiliza las distancias semánticas es un dendograma de coaliciones, que expresa las posibilidades de coalición o el nivel de conflicto entre los grupos (Villacis, 2005: 96).

Para la elaboración de la matriz de equidad se consideró a los actores sociales encargados de la institucionalidad en lo que respecta al manejo del agua en la ciudad de Guaranda, estos actores son: Dirección de Riego del GAD de Bolívar, Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Bolívar, Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Guaranda, Dirección de Medio Ambiente de Bolívar (MAD), Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPA-G), Secretaría Nacional del Agua-sede Bolívar (SENAGUA).

De cada una de las instituciones se entrevistó a los Directores o cabezas de áreas. De los actores sociales se excluyó a las juntas de agua y riego de las zonas periurbanas de la ciudad debido a que no son los encargados del modelo institucional, sino que son

³⁶ La matriz de similitud da un índice, para cada par de grupos de interés i, j , de la similitud de juicio sobre las alternativas propuestas. Éste índice s_{ij} se calcula como $s_{ij} = 1/(1+d_{ij})$ donde d_{ij} es la distancia de Minkovsky en el grupo i y el grupo j que se calcula de la siguiente manera:

$$d_{i,j} = \sqrt[p]{\sum_{k=1}^N (S_k(i,j))^p}$$

Donde " $S_k(i, j)$ " es la distancia semántica entre el grupo i y el grupo j en el juicio de preferencia por la alternativa k , N es el número de alternativas y $p > 0$ es el parámetro de la distancia de Minkovsky. A través de la secuencia de reducciones matemáticas se forma el *dendograma de coaliciones*, que muestra la formación de posibles coaliciones de los valores más pequeños del índice de similaridad y el grado de conflicto entre los grupos de interés" (NAIADE, 1996: 10).

actores que manejan un tipo de gestión establecida por la misma normativa formal e informal³⁷.

Para la recopilación de datos, se procedió a trabajar con los actores sociales involucrados en la gestión institucional del agua en Guaranda. Se procedió a explicar el impacto de las tres alternativas planteadas, se pidió que califiquen de acuerdo a sus perspectivas y preferencias utilizando las siguientes expresiones verbales: *excelente, muy buena, buena, moderadamente buena, más o menos, moderadamente mala, mala, muy mala, extremadamente mala*.

La evaluación de las tres alternativas por parte de los actores sociales se muestra en el gráfico 15. El índice $\Phi+$ muestra una relación del más fuerte, siendo la gestión hídrica con reutilización la mejor con un grado de credibilidad del 45%, seguido de la alternativa de gestión hídrica con tratamiento. La situación actual es la alternativa menos fuerte sin credibilidad para los actores sociales. El índice $\Phi-$ muestra una relación del menos débil al más débil, donde la alternativa de gestión hídrica con reutilización resulta ser la menos débil, y la situación actual resulta ser la más débil respecto al manejo de los recursos hídricos al cien por ciento de credibilidad.

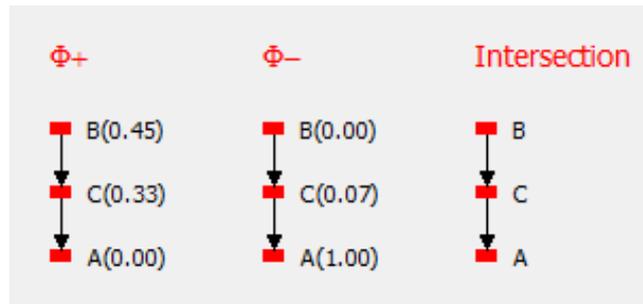
Tabla 31. Matriz de equidad

Actor/Alternativas	Situación Actual	Gestión hídrica con reutilización	Gestión hídrica con tratamiento
SENAGUA – Guaranda	Mala	Muy buena	Más o menos
EMAPA-G	Moderadamente mala	Muy buena	Muy Buena
Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Guaranda	Buena	Muy buena	Muy buena
Dirección Provincial de Ambiente de Bolívar MAE	Extremadamente mala	Excelente	Muy buena
Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Bolívar	Moderadamente mala	Muy buena	Muy buena
Dirección de Riego GAD de Bolívar	Más o menos	Muy buena	Muy buena

Fuente: en base a las preferencias de los actores sociales.
Elaborado: por el Autor.

³⁷ Se refiere al modelo de gestión comunitario o colectivo, donde los gestores del manejo hídrico son los usuarios representados por una junta.

Gráfico 15. Resultado del análisis de equidad



A: Situación Actual; B: Gestión hídrica con reutilización; C: Gestión con tratamiento.

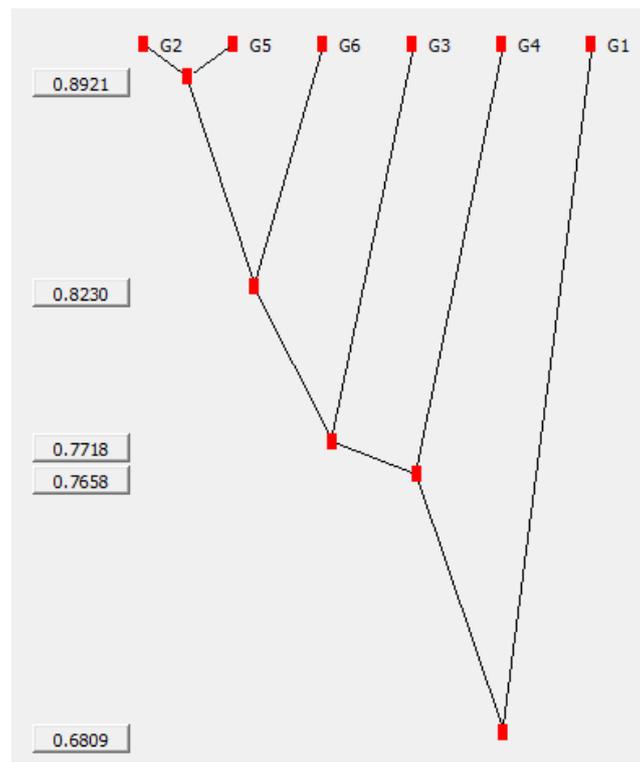
Elaborado: por el Autor.

En el gráfico 16, las coaliciones entre los actores sociales, permiten entender si se llegaría a un consenso en el modelo de gestión del recurso hídrico en la ciudad de Guaranda. El primer grupo está conformado por la EMAPA-G y la Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Bolívar que muestra una coalición con un grado alto de credibilidad del 89,21%. Este grupo forma una nueva coalición con la Dirección de Riego del GAD de Bolívar con una credibilidad del 82,30%. Este grupo se agrupa para formar una nueva coalición con la Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Guaranda con una credibilidad del 77,18%. Este grupo forma otra coalición con la Dirección Provincial de Ambiente de Bolívar (MAE) con el 76,58% de credibilidad; finalmente estos grupos forman una coalición con SENAGUA que es el ente rector del manejo hídrico a nivel local y nacional con una credibilidad del 68,09%.

El dendograma permite entender que no existirían conflictos graves entre los actores sociales, sino que consideran cambiar el tipo de gestión actual del agua en la urbe. Se da prioridad a nuevas prácticas de manejo que pueden ser orientadas hacia diversas actividades como la reutilización, que resulta ser la alternativa más fuerte. La alternativa tres representa una opción viable en la ciudad, ya que solamente ejecuta una gestión de tratamiento de aguas residuales.

La matriz de equidad muestra que es necesario crear asociaciones entre los entes encargados de la política hídrica, pues todos los actores sociales concuerdan en mejorar la gestión del agua hacia uno más sustentable.

Gráfico 16. Dendrograma de coaliciones entre los actores sociales



G1: SENAGUA - Guaranda; G2: EMAPA-G; G3: Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Guaranda; G4: Dirección Provincial de Ambiente de Bolívar MAE; G5: Dirección de Ambiente y Turismo del GAD de Bolívar; G6: Dirección de Riego GAD de Bolívar.

Elaborado: por el Autor.

3.10 Conclusiones

El análisis multicriterio a partir del método NAIADE logra comprobar la hipótesis central de esta investigación. La reutilización de aguas residuales tratadas ayuda a mejorar la sustentabilidad hídrica en Guaranda. El NAIADE reflejara que la mejor alternativa es la gestión con reutilización en la dimensión ambiental, pues el ahorro que se generaría en las fuentes hídricas y la protección hídrica, son un mecanismo que ayuda a cambiar los paradigmas de gestión hacia la conservación orientados por la reutilización.

Como se evidenció en los resultados presentados, la situación actual es la peor alternativa a pesar de que en los flujos económicos y consumo de agua urbano es la que mejor se encuentra. Las variables crematísticas no son las más oportunas para evaluar la sustentabilidad del recurso, ya que existen otras que reflejan la viabilidad de reutilizar las aguas residuales, a pesar que la alterativa tres es una opción aplicable.

Respecto a la matriz de equidad, se realizaron entrevistas a los Directores encargados de la institucionalidad del agua en la urbe en las diferentes entidades

públicas. Las preferencias de los actores radican en que la gestión del agua actualmente en la ciudad se encuentra en un contexto negativo en muchos aspectos ambientales e institucionales, pues no se cumplen las normas legales vigentes. En este contexto se considera pertinente cambiar el modelo de gestión hacia uno más sustentable, siendo la gestión con reutilización de aguas residuales la más atractiva.

Lo interesante de analizar el potencial de las aguas residuales es la utilidad que se generaría para muchos sectores urbanos y rurales. Lo que se presenta en esta investigación es uno de los tantos beneficios que tiene la reutilización para algunos sectores, en este caso el agrícola que consume alrededor del 80% de toda el agua dulce extraída de las fuentes. Existen otras alternativas para otras actividades, como reutilizar el agua en lavandería y lubricadoras de automotores que consumen gran cantidad de agua potable de alta calidad.

En las estimaciones de esta investigación, solamente se utiliza el 14% del total de las aguas residuales producidas en la urbe para el sector agrícola; dejando una importante cantidad de agua tratada que podría perfectamente ser útil para otros sectores, como por ejemplo las lavanderías y lubricadoras de automotores. Este sector, representa tan sólo el 1,5% (16.425 m³/año) del total de aguas residuales, que a simple vista pasa a ser no muy representativo, pero que generaría un fuerte impacto ambiental al dejar de utilizar agua de alta calidad que podría destinarse al ahorro.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de ésta investigación nace de la necesidad de fomentar nuevas políticas respecto a la generación de la sustentabilidad hídrica en las ciudades. Para ello, se parte de la formulación de un marco teórico que hace mención sobre el límite que tienen las sociedades respecto al uso de recursos renovables. El agua en este sentido no podría ser la excepción. Ante la eminente presión que existe hacia los recursos hídricos en los procesos metabólicos sociales, es indispensable tener mecanismos alternativos que permitan reusar aquellos *residuos* que generalmente ante el modelo actual de gestión no cumple ninguna función.

Se asume el reto de cambiar los paradigmas de política hídrica que existen en el país, proponiendo una gestión orientada a la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas para actividades que son altamente demandantes. En cierta forma se contempla la necesidad de articular un marco institucional fuerte que viabilice la instauración de nuevas políticas que giren alrededor de la sustentabilidad del recurso, por medio de las prácticas de reutilización.

El caso de estudio se realiza en la ciudad de Guaranda debido a sus características demográficas y ambientales, a pesar de no tener problemas de aprovisionamiento en la zona urbana, se evidencian falencias por el lado de la oferta. La expansión de la frontera agrícola en las zonas altas amenaza la provisión de la ciudad debido a que existe una fuerte presión hacia las fuentes hídricas. El camino de la investigación es sugerir una gestión del recurso hídrico dirigida al ahorro sobre diversas actividades que tienen alto consumo.

El flujo entrópico del agua como punto de partida

La temática del agua presentada en esta investigación se inició a partir de la relación que existe entre la entropía y los procesos metabólicos de la sociedad. Esta visión teórica permitió entender que los recursos como el agua apta para el consumo humano tienen un límite definido, y su conservación dependerá de la intensidad de consumo que den las sociedades actuales. Para ello se parte de la concepción teórica de Georgescu-Roegen (1971: 353) en el que se asume que el proceso económico es entrópico; esto

quiere decir, que el metabolismo socioeconómico transforma productos de baja entropía en alta entropía.

Esta idea puede ser utilizada como base para explicar parte de la evolución de las sociedades, ya que éstas pasaron del uso de energía endosomática hacia energía exosomática gobernada por el uso intensivo de combustibles fósiles. Esto lleva a la reflexión de que una sociedad será más sustentable en el tiempo, si sus requerimientos se asocian hacia un menor uso de energía exosomática (combustibles fósiles).

A partir de esta generalización teórica se abre el campo para el debate sobre los recursos hídricos con la definición de *metabolismo hídrico* como punto de partida. Este concepto marca un espacio importante en la manera de comprender a los recursos hídricos. El agua es considerada como el mayor componente del proceso metabólico de las sociedades y, por ende, su aislamiento en la contabilización de flujos de materiales ha permitido tener una lectura errada de los procesos económicos, sociales y ambientales del metabolismo.

El agua puede ser considerada como un recurso tangible e intangible de valor cultural, simbólico, emocional, etc., que se transforma en algo inquebrantable para muchas culturas en Ecuador. La desvalorización del agua se evidencia al considerarla únicamente como insumo crematístico para la producción mercantil, cuando en realidad cumple otras funciones importantes como activo ecosocial. Esta polaridad abre una brecha gigante entre el verdadero sentido de “valor” que tienen los recursos hídricos en las sociedades humanas; pues el agua debe ser considerado como un integrante de la riqueza nacional.

Situación actual de la gestión hídrica de Guaranda

En una primera fase descriptiva de la investigación, se constató que el modelo de gestión actual no es el propicio para hacer frente a uno de los principales problemas como la contaminación de las fuentes. En la urbe se producen problemas aguas arriba como la amenaza a los páramos por la expansión de la frontera agrícola, siendo este ecosistema el principal proveedor de agua para la ciudad de Guaranda. Aguas abajo los problemas siguen agudizándose ya que en la urbe no se realiza tratamiento de aguas residuales, lo que involucra que existan niveles elevados de contaminantes en el río Guaranda, provenientes mayoritariamente de desechos domésticos. A esto hay que

añadirle los problemas exógenos provocados por el cambio climático, donde las temporadas de sequía y excesivas lluvias se han ido agudizando cada vez más.

La contrariedad de la situación actual se da a nivel de dos puntos cruciales: suministro (oferta) y demanda. En la primera existe problemas referente a una sobreproducción de agua en la planta de tratamiento, cuando el consumo por habitante oscila entre 157 a 180 m³/día. Ante ésta situación el recurso sobrante incurre en pérdidas de agua no contabilizada que bordea el 40%, convirtiéndose en un problema administrado. La capacidad instalada para distribuir el agua en varios puntos de la ciudad está llegando a su punto máximo ante el crecimiento constante de la población e urbanizaciones, lo que involucra poner mayor atención para evitar problemas de desabastecimiento y discontinuidad del servicio.

La problemática que se genera a nivel de demanda se relaciona con la escasa cultura de conservación y cuidado hacia los recursos hídricos por parte de ciudadanos y de los mismos hacedores de política. Los sectores productivos predominantes de la urbe como el agrícola, doméstico y comercial, no cumplen las normativas ya establecidas, que garantizan un manejo adecuado tanto aguas arriba como aguas abajo, proyectándose como una gestión con pocas herramientas institucionales para crear políticas responsables hacia la sustentabilidad hídrica. Lo cual se traduce a una gestión deficiente por parte de las instituciones encargadas de la gestión hídrica a nivel urbano y periurbano.

Lo que se pudo evidenciar en la investigación a través de ésta diferenciación entre la oferta y la demanda, es que el problema de la gestión hídrica en Guaranda se debe en parte a que las políticas han estado direccionadas al suministro y cobertura (oferta), olvidándose de ciertos contextos sociales como la generación de una cultura de cuidado y ahorro del agua. Lo que deja en evidencia las falencias institucionales para integrar a la conservación del recurso agua como una de las herramientas más poderosas para hacer frente a la escases. Este panorama, lleva a la recomendación de crear nuevos sistemas legales para el manejo del agua por parte del Estado y de los Gobiernos locales, orientados no sólo a mejorar la cobertura de servicios sino a que también integren la gestión de demanda como un medio para generar sustentabilidad hídrica.

Un análisis de multicriterio como herramienta para evaluar la viabilidad de la reutilización

La investigación se centró en proponer mecanismos de gestión para la sustentabilidad hídrica urbana en Guaranda. Para ello, se utilizó el método de análisis multicriterio, como mecanismo que orienta de mejor forma la toma de decisiones, a través de varias alternativas propuestas. Este método permitió mejorar los criterios de decisión y comparar aspectos ambientales, económicos y sociales relacionados al manejo hídrico.

A partir de ésta coyuntura, el tronco de ésta investigación fue demostrar las dos hipótesis planteadas. La primera hace mención a que la gestión del agua no es sustentable debido a que existen insuficientes mecanismos institucionales a nivel local, esto se pudo demostrar lo largo del trabajo. Se evidenció que en la ciudad de Guaranda no existen los suficientes mecanismos legales como ordenanzas o normativas para dirigir políticas hacia un manejo más sustentable que no solamente tenga el objetivo de mejorar la cobertura de suministro.

Se explicó que uno de los problemas para mejorar la gestión del agua es la falta de coordinación entre las instituciones encargadas de la custodia de los recursos hídricos como: EMAPA-G, SENAGUA, GAD de Guaranda, GAD de Bolívar, Ministerio de Ambiente. La falta de una hoja de ruta ha ocasionado que cada institución mantenga metas por separado y no se dé un manejo integral. Esto se pudo corroborar a partir de las entrevistas que se realizó a cada institución, pues la principal debilidad del sistema institucional de Guaranda se refleja en la escasa planificación que surge por parte de los hacedores de política.

La segunda hipótesis de investigación fue plantear si la reutilización de aguas residuales tratadas ayuda a mejorar la sustentabilidad hídrica en Guaranda. Para comprobar se utilizó un análisis multicriterio que permitió tener un panorama más amplio de decisión. El método utilizado fue el NAIADE desarrollado por Munda (1995) debido a que permite realizar evaluaciones de impacto ambiental integrada (EAI) orientadas hacia la sustentabilidad, se realizaron dos tipos de análisis.

El primer análisis es la matriz de equidad que realiza comparaciones con los valores de cada criterio en cada alternativa planteada. El segundo es la matriz de equidad que permite a los actores sociales elegir de acuerdo a sus preferencias la mejor

alternativa para el problema planteado. Este método facilitó la toma de decisión respecto a las tres alternativas de política en el tema de gestión hídrica.

Los resultados obtenidos en la matriz de impacto ayudan a decidir que la mejor alternativa sería realizar una gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas, comprobando la segunda hipótesis planteada en ésta investigación, ya que involucran diversas medidas que mejoran la sustentabilidad del agua a partir de medidas como direccionar el agua tratada hacia las zonas periurbanas que se dedican a actividades como la agricultura; cumpliendo beneficios sociales directos como el incremento de áreas que no poseen riego y disminuir la presión sobre las fuentes hídricas. Esto se entiende como una gestión de doble vía para el flujo entrópico del agua, ya que una parte de los recursos tratados por el lado del *output* vuelven a ingresar al sistema que vendrían a representarse como una fuente hídrica adicional, lo que ayuda a mejorar la sustentabilidad hídrica y por ende fortalece la conservación.

Obtenidos los resultados de las tres alternativas, se realizó la matriz de equidad con todos los actores sociales identificados a través de entrevistas a cada uno (ver anexo 3). Se demuestra nuevamente que la alternativa de reutilización es la mejor vía para mejorar la gestión, seguido de la alternativa de tratamiento. Todos los actores concuerdan que la situación actual recibe una calificación de "muy mal"; siendo necesario cambiar el modelo de gestión hacia uno más sustentable, ya que la nueva demanda hídrica de la ciudad aborda nuevas exigencias de consumo en el futuro que hasta la fecha no han sido resueltas.

El mensaje a transmitir: hacia una política hídrica sustentable

Esta investigación se enmarcó en el ámbito de la sostenibilidad ecológica, es decir, "la conservación y el fortalecimiento de una serie de valores ambientales a través del mantenimiento de los ecosistemas en el mundo natural" (Throsby, 2003: 717). La concientización para el cuidado del recurso hídrico partió a través de dos elementos: el institucional y el cultural. El primero refleja la capacidad que deben tener los hacedores de política para crear nuevos mecanismo acorde a las necesidades modernas, que reorienten la gestión hacia la conservación y sustentabilidad. El segundo llega con el mensaje hacia las sociedades de generar nuevos hábitos culturales que adopten un consumo más consciente y moderado, ya que en la actualidad existen diversos contextos tanto antropogénicas como ambientales que ponen en riesgo la regeneración natural de

los recursos. Las personas deben adoptar un enfoque más sustentable con los ecosistemas.

Es así que el aprendizaje se encuentra inmerso en la necesidad de crear nuevas alternativas que fortalezcan el flujo entrópico del agua. La reutilización de los recursos hídricos se convierte en una política de doble vía para crear nuevas oportunidades que permitan modernizar la gestión con conciencia ambiental transmisible en el tiempo.

Para una adecuada gestión del agua se necesitan de argumentos normativos a nivel local y nacional, que construyan un puente para las alternativas sustentables de gestión como la reutilización, para evitar que sea invisibilizadas por los hacedores de política. Para ejecutar una política adecuada de sustentabilidad urbana se debe poseer información sobre los balances hídricos de una ciudad (flujo entrópico del agua), lo que permitirá conocer si existe una sobreproducción del recurso suministrado; así como entender los *inputs* que entran de forma exógena al sistema urbano (precipitaciones) y los *outputs* que salen de manera de residuos o de escorrentía.

La información impulsará de mejor forma las políticas dirigidas a la gestión de demanda, pues permitirá poseer datos sobre el nivel de consumo de una ciudad, y por ende de la producción de residuos, para que a partir de estos poder generar medidas orientadas a la reutilización en algunas actividades dentro y fuera de la ciudad. La investigación no pretende establecer como único mecanismo para mejorar la sustentabilidad hídrica la reutilización de aguas residuales; Resulta viable poder aplicar la reutilización debido a la cantidad de recurso que se lograría recuperar y que posteriormente podría usarse en otras actividades que no necesitan tener agua de alta calidad para su producción.

Por ésta razón, las políticas orientadas hacia la sustentabilidad hídrica deben nacer de la necesidad de conservación, de mirar la importancia que tienen los recurso hídricos para todas las formas de vida y actividades productivas. Esta concepción debe generar una cultura de ahorro en la sociedad a partir del fomento de nuevos hábitos de consumo, esto se lograr si no se centra solamente en solucionar problemas de cobertura o suministro, sino que también se implemente políticas orientadas a la gestión de demanda.

Aplicar una gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas en Guaranda generaría nuevas oportunidades nunca antes vistas relacionadas a una optimización adecuada del recurso. Se fortalecen los valores sociales orientados a la sustentabilidad, así como también la posibilidad de importar un nuevo modelo de gestión hídrica hacia otras ciudades del país respecto a un manejo más dinámico e integral de oferta y demanda.

Futuras investigaciones y pensamiento final

Las futuras investigaciones relacionadas a las problemáticas urbanas respecto a la gestión del recurso hídrico, debería direccionarse como se ha dicho anteriormente hacia la gestión de demanda, por lo que sería oportuno preguntarse ¿cómo afectará a las ciudades la presión que existe hacia los recursos hídricos provocados por la expansión demográfica y productiva? ¿Qué alternativas existen para mejorar la sustentabilidad de los recursos hídricos en las ciudades?

Este cuestionamiento es importante ya que permite anticiparse a ejecutar políticas que prioricen la prevención como principal mecanismo. Ante esto, la falta de información en el país sobre el sector hídrico no permite de manera oportuna crear políticas hacia el manejo sustentable, pues es necesario realizar balances hídricos urbanos relacionándolos con escenarios en el que se enfatice el crecimiento de la frontera agrícola y expansión demográfica aguas arriba.

Por otra parte, para ejecutar políticas dirigidas a la sustentabilidad hídrica es necesario que se empiecen a cuantificar los flujos hídricos en los estudios de metabolismo. Para ello los indicadores referentes al agua virtual o huella hídrica en una ciudad, resulta lo más adecuado para proporcionar información respecto a la cantidad utilizada en un proceso productivo y al impacto que tendrá el consumo en los recursos hídricos, lo cual ayuda a sincronizar el panorama de oferta y demanda.

El tema de la reutilización de aguas residuales es amplio, pues se deberían realizar análisis utilizando la herramienta de multicriterio para evaluar alternativas referentes a actividades que son demandantes de un alto nivel de recurso dentro de la ciudad como: el riego al ornamento, lavanderías de autos, lubricadoras, limpieza de calles, etc. La ejecución de éstas nuevas alternativas, ayudaría a modernizar la gestión

actual del agua hacia una mejor redistribución del recurso con conciencia de que el agua tiene su límite, y por ello la necesidad de reusar y conservar.

Lo que se quiso lograr con ésta investigación, va más allá de una crítica a las funciones institucionales que se encargan de la gestión o de mostrar un resultado. Lo importante fue generar una mayor conciencia a su uso, dejando a un lado esa visión simplista de ver al agua como un mero recurso para la producción. El agua químicamente es un elemento inerte formado por dos simples moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, combinación perfecta que dio paso a la vida biológica como se la conoce hoy en día.

El agua es abundante en su composición salada, pero escasa en su composición dulce, la única forma apta para el consumo del ser humano. La nueva cultura del agua debe establecerse en un parámetro *límite* que tenga como propósito conservar, pero que a su vez genere conciencia social de que en algún punto de la historia el agua dulce que hoy da vida a las urbes, podría secarse debido a que no se generó a tiempo una sociedad más sustentables, ocasionando *la sed de las ciudades*.

Respecto a la ciencia pos-normal (presentada como introducción del multicriterio). La ciencia en sí no es vista como la verdad absoluta sobre determinada ley, sino como una ayuda para el discurso y aplicación de políticas, marcada por la atención a la calidad (Luks, 1999). Por tanto, los resultados, métodos y recomendaciones tienen que integrarse en el discurso político (Luks, 1996). Para que ese diálogo tenga un principio, es necesario el desarrollo de las estructuras institucionales, las normas y las formas adecuadas de discurso a partir de la retórica, con el fin de utilizar un lenguaje apropiado de comunicación y argumentación. Es decir, mejorar la forma de diálogo y aprendizaje entre los grupos involucrados, que en el caso de éste estudio, es una armonización entre los actores políticos y sociales que convergen en el manejo del recurso agua.

Una política efectiva de sustentabilidad depende de la posibilidad de ordenar a los procesos socio-políticos para decidir acerca de los propósitos económicos, sociales y ambientales a ser alcanzados. En términos generales adoptar a la sustentabilidad como norma política significa afirmar que se mantiene un esquema de solidaridad entre el presente y el futuro, enfocado en una estrecha relación con la creación de un marco institucional para la formación de políticas ambientales y mejorar los procesos de

decisión. El mensaje para todo hacedor de política es aceptar a la *incertidumbre* como principio para facilitar una mejor toma de decisiones dentro de diversos contextos que reflejan una pluralidad de valores, es decir, adelantar el futuro al presente.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriaanse, A. Bringezu, S. Hammond, A. Moriguchi, Y. Rodenburg, E. Rogich, D. y Schütz, H. (1997). *Resources Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. World Resources Instituted. Visita 17 de enero 2014 en: <http://www.wri.org/publication/resource-flows>
- Aguilera Klink, F. (1994). *Agua, economía y medio ambiente: interdependencias físicas y la necesidad de nuevos conceptos*. Revista de Estudios Agrosociales, 167.
- Aguilera Klink, F. (2006). "Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales". *POLIS, Revista Latinoamericana*. Visita 19 de enero 2014: <http://polis.revues.org/5044#quotation>
- Balbo, M., Jordán, R., y Simioni, D. (Copiladores). (2003). "La ciudad inclusiva". *Cuadernos de la CEPAL* (No. 88). United Nations Publications.
- Belton, V. y Stewart, T. J. (2002). "Multiple Criteria Decision Analysis". Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers.
- Beltrán, M. y Velázquez, E. (2011). "Del metabolismo social al metabolismo hídrico". *Revista EcoEcoEs* documento de trabajo Nro. 1.
- Bieker, S., Cornel, P. y Wagner, M. (2010). "Semicentralised supply and treatment systems: integrated infrastructure solutions for fast growing urban areas". *Water Science and Technology* 61(11), 2905–2913.
- Burn, S., Maheepala, S., y Shama, A. (2012). "Utilising integrated urban water management to assess the viability of decentralised water solutions". *Water Science & Technology*, 113-121.
- Borja, M. (2011). "Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la Ciudad de Guaranda". Disertación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Visita 03 de agosto de 2014 en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>
- Carpintero, O. (1999). *Entre la economía y la naturaleza: la controversia sobre la valoración monetaria del medio ambiente y la sustentabilidad del sistema económico*. España: Los libros de la Catarata.

- Chapagain, A., y Hoekstra, A. (2004). "Water footprints of nations". *Value of Water Research Report Series* No.16, UNESCO-IHE. Visita 19 de enero 2014 en: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>
- Contraloría General del Estado (2013). "Comunicación de resultados provisionales". Documento no publicado. Guaranda, 6 de diciembre 2013. Archivo impreso.
- CORCONSUL CIA. LTDA. (2007a). "Estudio de impacto ambiental del nuevo sistema de agua potable de la ciudad de Guaranda". Manuscrito no publicado. Quito: 14 de febrero de 2007. Archivo Word.
- CORCONSUL CIA. LTDA. (2007b). "Estudio de factibilidad y diseños definitivos de los sistemas de Agua y Alcantarillado de la ciudad de Guaranda". Manuscrito no publicado. 2007. Archivo Word.
- COOTAD, "Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización". *Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados*. Visita 1 de mayo 2014 en: http://www.ame.gob.ec/ame/pdf/cootad_2012.pdf
- Ecoportal (2013). "Consulta de DBO5". Visita 16 abril 2014 en: http://www.ecoportal.net/Servicios/Glosario_Ambiental/D/DEMANDA_BIOQUIMICA_DE_OXIGENO_DBO5_DE_UN_AGUA_RESIDUAL
- EMAPA-G (2009a). "Informe de actividades Operativas y Administrativas". Manuscrito no publicado. 2008-2009. Archivo Word.
- EMAPA-G (2009-2013). "Agua producida de Guaranda: planta de tratamiento Chaquisca". Manuscrito no publicado. Material impreso.
- EMAPA-G (2008-2013a). "Indicadores de Cartera: Resumen anual de facturación y recaudación por fecha de pago". Manuscrito no publicado. Material impreso.
- EMAPA-G (2008-2013b). "Estado de ejecución presupuestaria". Manuscrito no publicado. Material impreso.
- El Telégrafo* (mayo, 2013) "El 80% de las aguas negras va directo al río Guaranda". Mayo 26 de 2013, Regional Centro. Visita 15 de agosto de 2013 en <http://www.telegrafo.com.ec/regionales/regional-centro/item/el-80-de-las-aguas-negras-va-directo-al-rio-guaranda.html>

- EPMAPS (2008). "Caracterización de las descargas de aguas residuales de la ciudad de Quito". Quito.
- EPMAPS, (2009). "Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q". Quito.
- ETAPA (2014). Agua no contabilizada: Problemática y mejores prácticas. Seminario Servicios Públicos: Agua Potable y Saneamiento en Cuenca, Ecuador.
- Falconí, F. (2002). *Economía y desarrollo sostenible: matrimonio feliz, o, divorcio anunciado?: el caso de Ecuador*. FLACSO, Sede Académica de Ecuador.
- FAO, (2013). "Cálculo de recursos hídricos renovables por país, Ecuador. AQUASTAT". Visita 14 de agosto de 2013 en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/wrs/readPdf.html?f=WRS_ECU_es.pdf
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (2000). *El metabolismo socioeconómico*. Ecología Política, No. 19. Icaria Editorial.
- Funtowicz, S. y Ravetz, J. (1991). *A New Scientific Methodology for Global Environmental Issues*. En Robert Costanza (Ed.), *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability*. New York: Columbia University Press, 137-140.
- Fürst, E. (2008). "Evaluación Multicriterio Social: ¿ Una metodología participativa de ayuda a la toma de decisiones o un aprendizaje social sujeto a una reinterpretación institucional-evolucionista?". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)*, (8), 1-13.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Guaranda: 2011-2020*. Visita 02 abril de 2014 en http://www.guaranda.gob.ec/web/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&Itemid=241&id=209:plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-canton-guaranda
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda (2013). "Rendición de Cuentas: Gestión 2013".

- Georgescu-Roegen, N. (1971). *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico*. Argentina: Fundación Argentina, distribución 1996.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Bolívar (2014). Plan Provincial de Riego. Guaranda, Ecuador.
- González de Molina, M. (2003). "La historia ambiental y el fin de la "utopía metafísica" de la modernidad". *Aula-Historia Social*, No. 12. Fundación Instituto de Historia Social.
- González de Molina, M., y Toledo, V. (2007). *El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza*. El paradigma ecológico en las ciencias sociales. *Icaria*, 85-112.
- González de Molina, M., y Toledo, V. (2009). *Metabolismos, naturaleza e Historia. Una Teoría de las transformaciones socioecológicas*. Madrid, Akal, en prensa.
- Haberl, H. (2006). "The global socioeconomic energetic metabolism as a sustainability problem". *Energy*, 31(1), 87-99.
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martinez-Alier, J., y Winiwarter, V. (2011). "A socio-metabolic transition towards sustainability? Challenges for another Great Transformation". *Sustainable development*, 19(1), 1-14.
- Hall, P. (1989). *Cities of tomorrow. An intellectual history of urban planning and design in the twentieth century*. Oxford, Blackwell, 473 p.
- Hoekstra, A. y Hung, P. (2002). "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade". *Value of Water Research Report Series No. 11*, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>
- Hoekstra, A. (2003). "Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade". *Value of Water Research Report Series No. 12*, UNESCO-IHE. Visita 19 de enero 2014 en: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC (2001). "Censo de Población y Vivienda 2001". Quito, Ecuador.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC (2010). "Censo de Población y Vivienda 2010". Quito, Ecuador.
- Kenway, S., Gregory, A. y McMahon, J., (2011). "Urban Water Mass Balance Analysis". The Massachusetts Institute of Technology and Yale University. *Journal of Industrial Ecology*. Volume 15, Number 5.
- Kessides, C. (1993). *Institutional Options for the Provision of Infrastructure*. Washington, DC. Banco Mundial.
- Keynes, J. M. (1937). "The General Theory of Employment". *The Quarterly Journal of Economics* 51 (2), 209-223.
- La "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua". *Registro Oficial del Ecuador*. Quito: 06 de agosto de 2014.
- La "Ordenanza sustitutiva a la ordenanza de creación de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, EMAPA-G" y su reformatoria. *Registro Oficial del Ecuador*. Quito: 25 de septiembre de 2008.
- La "Ordenanza de Creación de la E-P. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda E-P. EMAPA-G, que sustituye a la Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza de Creación de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, EMAPA-G y su reformatoria". *Registro Oficial del Ecuador*. Quito: 3 de septiembre de 2010.
- Leff, E. (Coordinador). (2003). *Ciencia Posnormal, Complejidad Reflexiva y sustentabilidad*. La complejidad ambiental. México: Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*. México: Siglo XXI Editores.
- Luks, F. (1996). "Post-Normal Science, Dematerialisierung und die Ökonomie". En J. Köhn y M. J. Welfens (Eds.), *Neue Ansätze in der Umweltökonomie*. Marburg: Metropolis, 89-106.
- Luks, F. (1999). "Post-Normal Science and the Rhetoric of Inquiry: Deconstructing Normal Science?" *Futures* 31, 705-719.

- Madrid, C. (2007). "Hidratar el metabolismo socioeconómico: Los flujos de agua virtual y el metabolismo hídrico. Una aproximación al sector hortofrutícola andaluz". Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Madrid, C. y Cabello, V. (2011). "Re-opening the black box in Societal Metabolism: the application of MuSIASEM to water". *Working Papers on Environmental Sciences*.
- Madrid, C. y Velázquez, E. (2008). "El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España)". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 8.
- Martínez-Alier, J. Roca Jusmet, J. y Sánchez, J. (1998). *Curso de Economía Ecológica*. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental Nro. 1.
- Minteer, B., y Miller, T. (2011). "The New Conservation Debate: ethical foundations, strategic trade-offs, and policy opportunities". *Biological Conservation*.
- Moncada, M. (2005). "Tras el invernadero. Un análisis de la industria florícola ecuatoriana desde el enfoque de la economía ecológica". Disertación de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador.
- Munda, G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment*. Alemania, Physica-Verlag.
- Munda, G. (2002). *Métodos y Procesos Multicriterio para la Evaluación Económico-Ambiental de las Políticas Públicas*. Departamento de Economía e Historia Económica.–Universidad Autónoma de Barcelona.
- Munda, G. (2004). "Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences". *European Journal of Operational Research* 158. Nro. 3. 662-677.
- Munda, G. Nijkamp, P. y Rietveld, P. (1995). "Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems". *European Journal of Operational Research* (82) Nro.1.

- NAIADE (1996). Manual & Tutorial. Joint Research Centre - EC, *ISPRA SITE* Institute for Systems, Informatics and Safety.
- Naredo, J. (2006). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social: más allá de los dogmas*. España: Siglo XXI de España Editores.
- Naredo, J. (Coordinador). (2009). *El agua virtual y la huella hidrológica en la comunidad de Madrid*. Informe de I+D+I. Madrid: Canal de Isabel II.
- North, D. (1993). *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Omann, I. (2004). "Multi-criteria decision aid as an approach for sustainable development analysis and implementation". Disertación de Doctorado en Ciencias Sociales y Económicas, Universidad Karl-Franzen de Graz.
- Ostrom, E. (2011) *El gobierno de los bienes comunes: la evolución de las instituciones de acción colectiva*. Universidad Nacional Autónoma de México: Fondo de Cultura Económica.
- Pacheco, J. F., y Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. CEPAL.
- Pinto, A., Almeida, M., y Henriques, A. (2008). "Modelos multicritério de apod à decisão para a análise da utilização de águas residuais". *Recursos Hídricos*, 29(2), 5-14.
- Plan especial Alto Guadiana (2007). "Programa hidrológico: Reutilización de aguas residual". Vista 17 de agosto 2014 en http://www.chguadiana.es/corps/chguadiana/data/resources/file/PEAG/2_8_RE_UTIL_AGUAS_RES.pdf
- "Proyecto de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua". *Asamblea Nacional del Ecuador* (2010).
- Rodrigo, J. (2003). *Repaso Termodinámica*. Universidad Autónoma de Madrid. Visita 26 de marzo de 2015 en: www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jgr/pdfs/repaso_termo_1.pdf

- Ricaurte, B. (2011). "El impacto ecológico del comercio ecuatoriano: flujos de materiales con los Estados Unidos, La Unión Europea y China". Tesis de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador.
- Sánchez, F. (2001) "Evapotranspiración". Visita 15 de abril 2014 en: <http://fjferreer.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Evapotranspiracion.pdf>
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2010: Recursos hídricos*. Visita 6 agosto de 2013 en <http://plan.senplades.gob.ec/web/guest/resumen22>
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 (PNBV)*. Quito, Ecuador.
- Sorrequieta, A. (2004). "Aguas Residuales: Reuso y tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica". Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario. Visita 02 de agosto de 2014 en http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod_resource/content/0/2_Aguas_residuales_protegido_.pdf
- Terán, Juan. (2007). "Las quimeras y sus caminos: la gobernanza del agua y sus dispositivos para la producción de pobreza rural en los Andes ecuatorianos". CLACSO, Buenos Aires-Argentina.
- Teruel, M. G. (2003). *Apuntes de economía ecológica*. Boletín económico de ICE, Información Comercial Española, (2767), 69-75.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULAS) (2003). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI. Quito: 2003.
- Throsby, D. (2003). *La Sostenibilidad Cultural*. En Manual de Economía de la Cultura Cap. LV. Ruth Towse (Comps). Madrid, España.
- Universidad Estatal de Bolívar (2013). "Metodología para la estimación de vulnerabilidad a nivel cantonal: Perfil territorial y análisis de vulnerabilidad del Cantón Guaranda". Guaranda: Universidad Estatal de Bolívar. Visita 02 de abril de 2014 en:

<http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/846/1/Perfil%20Territorial%20GUARANDA.pdf>

Vallejo, M. (2006). *La estructura biofísica de la economía ecuatoriana: el comercio exterior y los flujos ocultos del banano*. Quito: ABYA YALA-FLACSO.

Vallejo, M. (2010). "Perfiles metabólicos de tres economías andinas: Colombia, Ecuador y Perú". Disertación doctoral, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador.

Velázquez, E. (2009). *El agua virtual y el metabolismo hídrico: Un instrumento para gestionar los recursos hídricos*. En Aportes para una estrategia ambiental alternativa: indicadores de sustentabilidad y políticas ambientales. Quito: SENPLADES: FLACSO Sede Ecuador, 133-149.

Velázquez, E., Madrid, C., y Beltrán, M. (2011). "Rethinking the concepts of virtual water and water footprint in relation to the production–consumption binomial and the water–energy nexus". *Water Resources Management*, 25(2), 743-761.

Villacis, B. (2005). "La crisis del oro azul: Un análisis de la sustentabilidad del agua en la ciudad de Quito". Disertación de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador.

Wolman, A. (1965). *The metabolism of cities*. Scientific American, 213.

Yepes, G., y Gómez, B. (2002) "Plan Nacional de Desarrollo del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico". Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Entrevistas

01, Director de Ambiente y Turismo del Gobierno Autónomo Descentralizado del Bolívar, 11/09/2014.

02, Director Técnico de la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Guaranda, 11/09/2014.

03, Jefe de Gestión Ambiental, Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 11/09/2014.

04, Director Provincial del Ministerio de Ambiente-Bolívar, 12/09/2014.

05, Director de Riego del Gobierno Autónomo Descentralizado del Bolívar, 12/09/2014.

06 y 07, Secretaría Nacional del Agua, 12/09/2014.

Rafael Burbano, SENPLADES, 01/07/2015.

Documentos

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Guaranda: 2011-2020 (2011).

Rendición de Cuentas: Gestión 2013. GAD Guaranda (2014)

Gobierno Autónomo Descentralizado de Bolívar (2014). Plan Provincial de Riego.

GAD Bolívar (2014).

NAIADE, manual y tutorial, 1996 http://www.aiaccproject.org/meetings/Trieste_02

/trieste_cd/Software/NAIADE/naiade.PDF

ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de aguas residuales

Para este cálculo se parte a partir de la siguiente fórmula:

$$VD = D_{neta} * P * C_R \quad (1)$$

Donde, VD sería el volumen diario total de agua residual producida, D_{neta} es la dotación neta por habitante (l/hab*día)³⁸, P es la población de Guaranda (se lo estimó al año 2013 con una tasa de crecimiento de 1,68% a partir del último censo del INEC 2010), C_R es el coeficiente de retorno.³⁹

El coeficiente de retorno cuando no se tienen datos de medición, se puede como guía a partir de rangos de valores que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 32. Coeficiente de Retorno de Aguas servidas Domésticas

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 – 0,8
Medio alto y alto	0,8 – 0,85

Fuente: EPMAPS, (2009: 30).

Elaborado: por el Autor.

Se consideró utilizar un C_R igual a 0,7, de igual manera la dotación neta promedio por habitante de Guaranda para el estudio de caso es de 157 l/hab*día (información de la EMAPA-G).

$$VD = 157 \text{ l/hab*día} * 25.098 * 0,7(2)$$

$$VD = 2.758.270 \text{ l/día} \quad (3)$$

$$VD = 2.758 \text{ m}^3/\text{día}(4)$$

Transformado a $\text{m}^3/\text{año}$:

$$VD = 1.006.752 \text{ m}^3/\text{año} \quad (5)$$

³⁸ Está determinada por las Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable (EPMAPS, 2009).

³⁹El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo (EPMAPS, 2009).

Anexo 2: Transformación de la precipitación y cálculo de la ETR

Transformando a m^2 el área total de la urbe y Guanajuato:

$$\text{Área} = 392 \text{ ha} * 10.000 \text{ m}^2 / \text{ha} \quad (1)$$

$$\text{Área} = 3,920,000 \text{ m}^2 \quad (2)$$

A esto se lo multiplica por los 761,6 l/año. m^2 de precipitación:

$$\text{Precipitación} = 3,920,000 \text{ m}^2 * 761,6 \text{ lts} / \text{año} \cdot \text{m}^2 \quad (3)$$

$$\text{Precipitación} = 2,985,472,000 \text{ lts} / \text{año} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} \quad (4)$$

$$\text{Precipitación} = 2,985,472 \text{ m}^3 / \text{año} \quad (5)$$

Adicionalmente se necesita conocer la evapotranspiración entendida como los procesos de evaporación (el agua pasa de líquido a gaseoso) y transpiración (las plantas pierden agua que se dirige a la atmósfera) (Sánchez, 2001: 3). Para el caso de Guanajuato se cuenta con el dato de evapotranspiración real (ETR) de 601,8 mm/año o 601,8 l/ m^2 ·año y multiplicando por la ecuación 7:

$$\text{ETR} = 601,8 \text{ lts} / \text{año} \cdot \text{m}^2 * 3,920,000 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$\text{ETR} = 2,355,920,000 \text{ lts} / \text{año} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} \quad (7)$$

$$\text{ETR} = 2,355,920 \text{ m}^3 / \text{año} \quad (8)$$

Ahora, lo único que se necesita sería conocer la escorrentía anual que sería la altura del agua en mm escurrida y extendida:

$$\text{Escorrentía} = \text{Precipitación} - \text{ETR} \quad (9)$$

$$\text{Escorrentía} = 629.552 \text{ m}^3 / \text{año} \quad (10)$$

Anexo 3: Entrevista a los actores Sociales encargados de la gestión de los recursos hídricos en la ciudad de Guaranda

Entrevista a los Actores Sociales encargados de la Gestión de los Recurso Hídrico en la ciudad de Guaranda

Institución:

Nombre:

Cargo:

Fecha:

Objetivo de la entrevista:

La siguiente entrevista tiene como finalidad conocer su opinión respecto a la gestión del agua en la ciudad de Guaranda, cuyo propósito sería reorientar el manejo hídrico hacia uno más sustentable e integral. Para ello, se proponen tres alternativas tentativas:

1. situación actual,
2. gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas y,
3. gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales.

La primera alternativa explica el panorama actual respecto al manejo y situación de los recursos hídricos en la urbe; las dos alternativas siguientes proponen un cambio de estructura en la gestión del agua hacia uno más sustentable. La información recopilada servirá para realizar un estudio de actores sociales, esencial para la elaboración de un análisis multicriterial. A continuación se explica el fundamento de las tres alternativas propuestas incluyendo una pregunta por cada alternativa, que deberán ser respondidas de acuerdo a las preferencias del entrevistado. El tiempo estimado es de 30 minutos.

Alternativa uno: Situación actual

La situación actual en el manejo hídrico en la ciudad se ha caracterizado por ser un sistema de inexistentes mecanismos institucionales para mejorar la gestión del agua orientado hacia la sustentabilidad. Actualmente, en la ciudad no se realizan tratamiento de aguas residuales, por lo que la contaminación es constante hacia el río Guaranda, sobrepasando los niveles admisibles de una descarga en otro cuerpo receptor según normas nacionales (TULAS)⁴⁰.

Cabe mencionar que las políticas de conservación en las últimas décadas, no han sido las propicias para conservar el recurso, pues la introducción de especies exóticas (pinos, eucaliptos) han provocado externalidades ambientales negativas como la erosión de suelos y disminución de caudales; así como la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento demográfico rural sin planificación, lo que ha puesto en riesgo la conservación de las fuentes de agua que abastecen a la ciudad y sus alrededores.

Además, los niveles de cobertura para agua potable según el último Censo de Población y Vivienda realizado por el INEC en 2010, menciona que la cobertura es del 82,3%, cuando en 2001 era de 81,5%, lo que demuestra que habido un crecimiento de tan sólo el 1%. Por otra parte, los niveles de agua no contabilizada por parte del sistema de distribución está alrededor del 39,7%, que son provocados por varios factores como: conexiones clandestinas, fugas en la distribución, medidores obsoletos, etc.

Se puede recalcar, que existe una sobreproducción de agua potable en la planta de tratamiento respecto a los requerimientos de demanda real; lo óptimo no es incrementar la producción de agua, sino disminuirla de acuerdo a las necesidades de la población, lo cual ayuda a conservar el recurso. Por tanto, la situación actual permite comprender que el recurso hídrico no está manejado de una manera sustentable, con el fin de procurar su continuidad y calidad en el tiempo.

Pregunta uno

De acuerdo a su perspectiva. ¿Cómo calificaría usted la situación actual referente al manejo sustentable del agua en la ciudad de Guaranda? (Marque solamente una vez).

Expresión verbal	Respuesta
Excelente	
Muy buena	
Buena	
Moderadamente buena	
Más o menos	
Moderadamente mala	
Mala	
Muy mala	
Extremadamente mala	

⁴⁰ Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, libro VI.

Alternativa dos: Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas

La gestión hídrica con reutilización de aguas residuales, se enfoca en el marco de la sustentabilidad. Esta nueva política hídrica se encamina en la creación de nuevos marcos institucionales, con el fin de potenciar aquellas normativas ya establecida; a través de un nuevo panorama de manejo del agua con apoyo legal (local y nacional) para reorientarlo hacia la sustentabilidad. El modelo de gestión es optimizar el uso del recurso a través de la reutilización de aguas residuales tratadas (con tratamiento secundario), orientada hacia el sector agrícola en la zonas periurbanas; lo cual crea nuevas oportunidades como el incremento de hectáreas e usuarios con riego.

Este sistema de gestión se enfoca en varios aspectos; generar ahorro del recurso en las fuentes de abastecimiento para el sector agrícola, optimizar la producción de agua potable de acuerdo a los niveles de demanda de la ciudad evitando su exceso; además, se prioriza en la disminución de pérdidas provocados en la red de distribución, lo cual tiene un beneficio directo, ya que a mediano plazo no se necesitaría explotar más fuentes de agua en las zonas de captación del Arenal, debido a que las fuentes indirectas se encontrarían en las mismas pérdidas que serían minimizadas. Esta visión permite potenciar políticas que dirigen el recurso hacia la conservación, por medio de medidas técnicas, pero también por actividades que ayudan a mejorar la sustentabilidad.

Por otra parte, se prioriza una cobertura igualitaria de los servicios de agua potable y alcantarillado. Lo destacable de esta gestión es generar una nueva cultura hacia el ahorro y cuidado del agua, donde el recurso se convierte en un activo ecosocial que cumple diversas funciones económicas, sociales y ambientales; dejando de lado la visión simplista que se le da al agua como insumo utilizado netamente para la producción.

Pregunta dos

De acuerdo a su perspectiva. ¿Cómo calificaría usted a esta alternativa para mejorar la sustentabilidad hídrica a través de una nueva gestión orientada hacia la reutilización de aguas residuales tratadas? (Marque solamente una vez).

Expresión verbal	Respuesta
Excelente	
Muy buena	
Buena	
Moderadamente buena	
Más o menos	
Moderadamente mala	
Mala	
Muy mala	
Extremadamente mala	

Alternativa tres: Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales

Esta alternativa crea un mecanismo de gestión del agua a través del cumplimiento adecuado de las normativas establecidas, siendo muy similar en muchos aspectos a la alternativa dos (Ej. tratamiento de aguas residuales). La característica especial es su orientación hacia la mejora en la eficiencia de la gestión a través de incrementar la cobertura de los servicios de agua y saneamiento. Se prioriza en muchos aspectos, como el proveer niveles más adecuados de descargas al río Guaranda, minimizando su carga contaminante (DBO₅, DQO, Coliformes fecales), se disminuye de manera relativa los niveles de pérdidas de agua en la red de distribución; es decir, se orienta a mejorar la situación actual, a través de la eficiencia en la gestión y del cumplimiento de las normativas ya establecidas.

La diferencia entre la alternativa dos y esta, se encuentra que no se aprovechan las aguas residuales tratadas hacia otras actividades, sino que son dirigidas directamente al río Guaranda, causando un impacto ambiental positivo a diferencia de la situación actual.

Pregunta tres

De acuerdo a su perspectiva. ¿Cómo calificaría usted esta alternativa para mejorar la gestión del agua y mejorar los niveles de sustentabilidad en la ciudad de Guaranda? (Marque solamente una vez).

Expresión verbal	Respuesta
Excelente	
Muy buena	
Buena	
Moderadamente buena	
Más o menos	
Moderadamente mala	
Mala	
Muy mala	
Extremadamente mala	

Pregunta adicional

De acuerdo a su perspectiva. ¿Cómo calificaría a cada una de las tres alternativa como medida orientada a la protección de las fuentes hídricas que abastecen a la urbe? (Marque una sola vez por cada alternativa).

Expresión verbal	Situación Actual	Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales	Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales
Extremadamente alta			
Muy alta			
Alta			
Moderadamente alta			
Más o menos			
Moderadamente baja			
Baja			
Muy baja			
Extremadamente baja			

Anexo 4: Cálculo de flujos económicos

Tabla 33. Alternativa uno: Situación Actual

Años	Nro. Familias	Costos de O& M	Beneficios	Flujo Neto
0				-3.694.653
1	5.996	88.014	647.604	559.590
2	6.097	88.014	658.484	570.470
3	6.200	88.014	669.546	581.532
4	6.304	88.014	680.795	592.781
5	6.410	88.014	692.232	604.218
6	6.517	88.014	703.861	615.847
7	6.627	88.014	715.686	627.672
8	6.738	88.014	727.710	639.696
9	6.851	88.014	739.935	651.921
10	6.966	88.014	752.366	664.352
11	7.083	88.014	765.006	676.992
12	7.202	88.014	777.858	689.844
13	7.323	88.014	790.926	702.912
14	7.446	88.014	804.214	716.200
15	7.572	88.014	817.725	729.710
16	7.699	88.014	831.462	743.448
17	7.828	88.014	845.431	757.417
18	7.960	88.014	859.634	771.620
19	8.093	88.014	874.076	786.062
20	8.229	88.014	888.760	800.746
21	8.368	88.014	903.692	815.678
22	8.508	88.014	918.874	830.860
23	8.651	88.014	934.311	846.297
24	8.796	88.014	950.007	861.993
25	8.944	88.014	965.967	877.953

Elaborado: por el Autor.

Tabla 34. Parámetros: Alternativa uno

Promedio miembros por familia	4,40
Gasto mensual en el servicio	9,00
Anual	108,00

Elaborado: por el Autor.

Tabla 35. Flujos económicos: Alternativa uno

Tasa de descuento	12%
VAN	1.330.428
TIR	16,53%

Elaborado: por el Autor.

Tabla 36. Alternativa dos: Gestión hídrica con reutilización de aguas residuales tratadas

Años	Nro. Usuarios	Consumo m3/año	Ingreso \$/m3	Beneficios	Suma Beneficios	Costo	Flujo neto
0							-14.124.627
1	300	158.400	14.256	29.160.000	1.813.156	139.859	1.673.296
2	315	166.320	14.969	30.618.000	1.844.090	139.859	1.704.231
3	331	174.636	15.717	32.148.900	1.875.568	139.859	1.735.708
4	347	183.368	16.503	33.756.345	1.907.599	139.859	1.767.740
5	365	192.536	17.328	35.444.162	1.940.195	139.859	1.800.335
6	383	202.163	18.195	37.216.370	1.973.365	139.859	1.833.506
7	402	212.271	19.104	39.077.189	2.007.122	139.859	1.867.263
8	422	222.885	20.060	41.031.048	2.041.476	139.859	1.901.616
9	443	234.029	21.063	43.082.601	2.076.439	139.859	1.936.579
10	465	245.730	22.116	45.236.731	2.112.022	139.859	1.972.163
11	489	258.017	23.222	47.498.567	2.148.238	139.859	2.008.379
12	513	270.918	24.383	49.873.496	2.185.100	139.859	2.045.240
13	539	284.464	25.602	52.367.170	2.222.619	139.859	2.082.759
14	566	298.687	26.882	54.985.529	2.260.809	139.859	2.120.949
15	594	313.621	28.226	57.734.805	2.299.683	139.859	2.159.823
16	624	329.302	29.637	60.621.546	2.339.255	139.859	2.199.395
17	655	345.767	31.119	63.652.623	2.379.538	139.859	2.239.679
18	688	363.056	32.675	66.835.254	2.420.547	139.859	2.280.688
19	722	381.208	34.309	70.177.017	2.462.298	139.859	2.322.438
20	758	400.269	36.024	73.685.868	2.504.803	139.859	2.364.944
21	796	420.282	37.825	77.370.161	2.548.080	139.859	2.408.220
22	836	441.296	39.717	81.238.669	2.592.143	139.859	2.452.284
23	878	463.361	41.703	85.300.603	2.637.010	139.859	2.497.151
24	921	486.529	43.788	89.565.633	2.682.696	139.859	2.542.837
25	968	510.856	45.977	94.043.914	2.729.219	139.859	2.589.360

Elaborado: por el Autor. **Tabla 37. Parámetros: Alternativa dos**

Crecimiento anual Nro. Usuarios	5%
Tarifa	0,09
Consumo mes*usuario	44
Consumo anual*usuario	528

Elaborado: por el Autor.

Tabla 38. Flujos económicos: Alternativa dos

Tasa de descuento	12%
VAN	817
TIR	13%

Elaborado: por el Autor.

Tabla 39. Alternativa tres: Gestión hídrica con tratamiento de aguas residuales

Años	Nro. Familias	Costos de O& M	Beneficios	Flujo Neto
0				-13.374.627
1	5.996	131.459	1.798.900	1.667.440
2	6.097	131.459	1.829.121	1.697.662
3	6.200	131.459	1.859.851	1.728.391
4	6.304	131.459	1.891.096	1.759.637
5	6.410	131.459	1.922.867	1.791.407
6	6.517	131.459	1.955.171	1.823.711
7	6.627	131.459	1.988.018	1.856.558
8	6.738	131.459	2.021.416	1.889.957
9	6.851	131.459	2.055.376	1.923.917
10	6.966	131.459	2.089.906	1.958.447
11	7.083	131.459	2.125.017	1.993.557
12	7.202	131.459	2.160.717	2.029.258
13	7.323	131.459	2.197.017	2.065.558
14	7.446	131.459	2.233.927	2.102.468
15	7.572	131.459	2.271.457	2.139.998
16	7.699	131.459	2.309.617	2.178.158
17	7.828	131.459	2.348.419	2.216.960
18	7.960	131.459	2.387.872	2.256.413
19	8.093	131.459	2.427.989	2.296.529
20	8.229	131.459	2.468.779	2.337.319
21	8.368	131.459	2.510.254	2.378.795
22	8.508	131.459	2.552.427	2.420.967
23	8.651	131.459	2.595.307	2.463.848
24	8.796	131.459	2.638.909	2.507.449
25	8.944	131.459	2.683.242	2.551.783

Elaborado: por el Autor.

Tabla 40. Parámetros: Alternativa tres

Promedio miembros por familia	4,40
Gasto mensual en el servicio	25,00
Anual	300,00

Elaborado: por el Autor.

Tabla 41. Flujos económicos: Alternativa tres

Tasa de descuento	12%
VAN	1.470.394
TIR	13,43%

Elaborado: por el Autor.