



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EVALUACIÓN DEL MANEJO Y SANEAMIENTO DE
VERTIMIENTOS MUNICIPALES BASADOS EN EL MARCO DEL
CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN 631 DEL 17 DE MARZO
DE 2015- ESTUDIO DE CASO - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

GUILLERMO ALFONSO VELÁSQUEZ DE LOS RÍOS

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Química
Manizales, Colombia
2016

**EVALUACIÓN DEL MANEJO Y SANEAMIENTO DE
VERTIMIENTOS MUNICIPALES BASADOS EN EL MARCO DEL
CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN 631 DEL 17 DE MARZO
DE 2015- ESTUDIO DE CASO - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

GUILLERMO ALFONSO VELÁSQUEZ DE LOS RÍOS

Trabajo de profundización presentado como requisito parcial para optar al título
de: Magister en Ingeniería – Ingeniería Ambiental

Director (a)
Profesora Adela Londoño Carvajal
Universidad Nacional de Colombia

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Química
Manizales, Colombia
2016

DEDICATORIA

Este triunfo lo dedico a mis padres Jorge Ovidio y Luz Dary que con su entereza han sabido guiarme por el buen sendero.

A mis hermanos (Jorge Alberto, Janeth Lucia, Diana María y Sandra Milena) por su compañía y consejo

A mis sobrinos (Andrés Mauricio, Linda Juliana, Silvana Alejandra, Mateo, Isabela, Jorge Alejandro, Mariangel, Eduar) por llenarme de alegría. Para ti Sebitas que desde el cielo estas sonriendo por este logro.

A mi hijo Juan Guillermo por ser ese motor que me impulsa a ser mejor.

A mi compañera de camino por todos los sueños que entretejemos juntos, gracias!!

A todos ustedes amigos y familiares, un millón de gracias por los buenos deseos y ánimo constante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la oportunidad que me ha dado de avanzar un peldaño más hacia la cima que él me tiene destinada.

A la ingeniera Salma Antonia Guarnizo funcionaria de la Subdirección de Calidad Ambiental de CORTOLIMA

A los técnicos Álvaro, Iván, James, Vilma y Wilson; ingenieras Georgina, Ingrid, Ivonne y Laura, todos pertenecientes a mi excelente grupo de Metas de Descontaminación de CORTOLIMA.

A mi directora de trabajo de grado, la ingeniera Adela Londoño Carvajal – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

A todo el personal de bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales

CONTENIDO

Tabla de contenido

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE IMÁGENES.....	x
LISTA DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN COLOMBIA.....	5
1.1 Estudio normativo para el tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas. Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 – Normatividad Colombiana.....	7
1.1.1 Normativa nacional	7
1.1.2 Normativa regional.....	8
1.2 Tendencia del tratamiento de aguas residuales domésticas municipales.	9
1.3 Situación actual de la contaminación por efectos de las aguas residuales domésticas en el departamento del Tolima.....	16
1.4 Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en el Departamento del Tolima.....	17
1.5 Planes de ordenación del recurso hídrico en la jurisdicción de Cortolima.....	18
2 MUNICIPIOS SELECCIONADOS PARA ESTUDIO.	40
2.1 Criterios de selección.	41
2.2 Generalidades de los municipios seleccionados.	46
2.2.1 MUNICIPIO DE HERVEO.....	46
2.2.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA.....	49
2.2.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO.....	52

2.2.4	MUNICIPIO DE FALAN.....	57
2.2.5	MUNICIPIO DE FRESNO	60
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	65
3.1	Análisis de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV).....	66
3.1.1	MUNICIPIO DE HERVEO	66
3.1.2	MUNICIPIO DE CASABIANCA	73
3.1.3	MUNICIPIO DE PALOCABILDO	77
3.1.4	MUNICIPIO DE FALAN.....	79
3.1.5	MUNICIPIO DE FRESNO	83
3.2	Cargas vertidas por cada municipio a fuentes de agua	88
3.2.1	CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE HERVEO..	94
3.2.2	CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE CASABIANCA	94
3.2.3	CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE PALOCABILDO.....	95
3.2.4	CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE FALAN	96
3.2.5	CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE FRESNO..	97
4	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES POSIBLES.	99
4.1	Análisis de alternativas de tratamiento para los municipios bajo estudio. 100	
4.2	Diseño de un sistema de tratamiento descentralizado tipo.....	115
4.3	Costos asociados a la alternativa diseñada.....	124
4.4	Recomendaciones de construcción y puesta en marcha de los sistemas para cada uno de los municipios estudiados.	129
4.4.1	Recomendaciones de construcción.....	129
4.4.2	Recomendaciones para la puesta en marcha de los sistemas planteados.....	131
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
6	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	140
7	ANEXOS	144
7.1	ANEXO 1. Valores Parámetros Físicoquímicos – Cuenca Gualí (POMCA GUALÍ) – MEDIO DIGITAL.....	144

7.2 ANEXO 2. Resultados Caracterizaciones Fisicoquímicas Vertimientos Municipios en Estudio. Laboratorio CORCUENCAS.	145
7.3 ANEXO 3. Boletines DANE Municipio de Estudio.	146
7.4 ANEXO 4. Esquema del sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas.	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cargas Contaminantes Potencialmente Vertidas sobre los Sistemas Hídricos (Toneladas/Año) Año 2012.	5
Figura 2. Cargas Contaminantes Potencialmente Vertidas Área Hidrográfica Magdalena – Cauca (t/año) Año 2012.	6
Figura 3. Diagrama Sistema de Tratamiento por Lodos Activados – Aerobio.	11
Figura 4. Sistema de tratamiento por medio de UASB – Anaerobio	12
Figura 5. Remociones estimadas en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas – Lodos Activos y UASB.	13
Figura 6. Tabla comparativa entre tratamientos Aerobios y Anaerobios	15
Figura 7. Áreas Municipales de los Municipios Pertenecientes a la Cuenca del Río Gualí.	21
Figura 8. Ubicación Geográfica de la Cuenca Hidrográfica del Rio Gualí	22
Figura 9. Ubicación Estaciones Cuenca Río Gualí – Estaciones Corriente Principal	25
Figura 10. Comportamiento de DBO ₅ . en la cuenca Gualí.	44
Figura 11. Comportamiento de S.S.T. en la cuenca Gualí.	45
Figura 12. Asignación del nivel de complejidad.	90
Figura 13. Dotación según nivel de complejidad.	90
Figura 14. Coeficiente de retorno.	90
Figura 15. Valores Composición Típica Agua Residual Doméstica.	91
Figura 16. Parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles – Artículo 8 Resolución 631 de 2015	93
Figura 17. Asignación del nivel de complejidad – Guía RAS-001	103
Figura 18. Periodos de diseño – Guía RAS - 001	104
Figura 19. Método de cálculo de población según el nivel de complejidad	104
Figura 20. Criterios de diseño de filtros anaerobios - Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors	112
Figura 21. Esquema Humedal de Flujo Subsuperficial	113
Figura 22. Costos de construcción sistemas de tratamiento – Modelo UTP	126
Figura 23. Costos de operación y mantenimiento sistemas de tratamiento – Modelo UTP	127

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Costos de las alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas (Fuente BIOTEC)	14
Tabla 2. Áreas Municipales en la Cuenca del Río Gualí.....	21
Tabla 3. Valores del Índice ICA Para la Cuenca del Río Gualí	27
Tabla 4. Clasificación de la Calidad del Agua Según Valores ICA.....	27
Tabla 5. Valores ICA – Metodología IDEAM.....	28
Tabla 6. Calificación de los rangos de valores para el Índice de retención y Regulación Hídrica (IRH).....	29
Tabla 7. Valores del Índice de retención hídrica (IRH) para las subcuencas (NSS) que conforma la cuenca hidrográfica del río Gualí	30
Tabla 8. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua	31
Tabla 9. Índice de uso del agua para subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí, año hidrológico seco	33
Tabla 10. Índice de uso del agua (IUA) para cuencas y subcuencas río Gualí para año hidrológico Normal o medio.....	34
Tabla 11. Matriz de relación para categorizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).	35
Tabla 12. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico (IVH), para la condición de año hidrológico seco, en las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí.....	36
Tabla 13. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico (IVH), para la condición de año hidrológico normal, en las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí.....	37
Tabla 14. Resultados Índice de Calidad del Agua (ICA) para la cuenca del río Recio.	38
Tabla 15. Proyección agrícola y ganadera – Municipios en estudio	40
Tabla 16. Resumen del cumplimiento de Objetivos de calidad para la cuenca Gualí en el periodo de 2010 a 2015.	42
Tabla 17. Resumen de resultados de DBO5 reportados por el Laboratorio de CORCUENCAS para un periodo de 2013 a 2015 de la cuenca Gualí.	43
Tabla 18. Resumen de resultados de S.S.T. reportados por el Laboratorio de CORCUENCAS para un periodo de 2013 a 2015 para la cuenca Gualí. ...	44
Tabla 19. Puntos de vertimientos identificados – Municipio de Herveo Tolima. . (Fuente Cortolima – 2015).....	48
Tabla 20. Puntos de Vertimientos identificados – Municipio de Casabianca Tolima. (Fuente Cortolima – 2015).....	52
Tabla 21. Caudales de acueductos concesionados por CORTOLIMA en el municipio de Palocabildo – Tolima	54
Tabla 22. Vertimientos Identificados - Municipio de Palocabildo Tolima Año 2015. (Fuente Cortolima – 2015).....	56
Tabla 23. Vertimientos Identificados - Municipio de Falan Tolima Año 2015....	59

Tabla 24. Vertimientos Identificados - Municipio de Fresno Tolima Año 2015. .	62
Tabla 25. Resumen Vertimientos encontrados y vertientes municipios en estudio.	64
Tabla 26. Vertimientos Reportados PSMV HERVEO TOLIMA.....	70
Tabla 27. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Herveo Tolima.....	73
Tabla 28. Vertimientos Reportados PSMV CASABIANCA TOLIMA.....	75
Tabla 29. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Casabianca Tolima.	76
Tabla 30. Vertimientos reportados PSMV PALOCABILDO TOLIMA.	78
Tabla 31. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Palocabildo Tolima.....	78
Tabla 32. Vertimientos Reportados PSMV FALAN TOLIMA.	82
Tabla 33. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Falan Tolima.	83
Tabla 34. Valores Percapita Fresno Tolima.....	85
Tabla 35. Vertimientos Reportados PSMV FRESNO TOLIMA.....	86
Tabla 36. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Fresno Tolima.	88
Tabla 37. Resumen de cargas contaminantes vertidas por los municipios en estudio.	98
Tabla 38. Población proyectada según nivel de complejidad- Municipios en estudio.	105
Tabla 39. Población y caudales proyectados – Municipio de Herveo.....	106
Tabla 40. Población y caudales proyectados – Municipio de Casabianca.	106
Tabla 41. Población y caudales proyectados – Municipio de Palocabildo.....	107
Tabla 42. Población y caudales proyectados – Municipio de Falan.	107
Tabla 43. Población y caudales proyectados – Municipio de Fresno	108
Tabla 44. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas consideradas en la formulación de los esquemas tecnológicos - SELTAR	109
Tabla 45. Datos diseño sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.	116
Tabla 46. Costos del sistema de tratamiento seleccionado – Modelo UTP.....	128

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Herveo Tolima Año 2015.....	49
Imagen 2. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Casabianca Tolima Año 2015.....	52

Imagen 3. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Palocabildo Tolima Año 2015	56
Imagen 4. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Falan Tolima Año 2015	59
Imagen 5. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Fresno Tolima Año 2015	63

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del Caudal Vertido por Municipio.....	89
Ecuación 2. Cálculo Caudal Teórico por Municipio.....	89
Ecuación 3. Cálculo de la Carga Contaminante.....	91
Ecuación 4. Cálculo Carga Contaminante Resolución 631 de 2015.....	92
Ecuación 5. Calculo de la población futura- Método Geométrico.....	104
Ecuación 6. Calculo de r – Método Geométrico.....	104
Ecuación 7. Capacidad tanque séptico – Código Británico.....	110
Ecuación 8. Capacidad tanque séptico – USPHS (1)	110
Ecuación 9. Capacidad tanque séptico – USPHS (2)	110
Ecuación 10. Tiempo de retención - FAFA	110
Ecuación 11. Tasa de carga hidráulica - FAFA.....	111
Ecuación 12. Tasa de carga orgánica - FAFA	111
Ecuación 13. Cálculo del área superficial del humedal artificial se flujo subsuperficial	114
Ecuación 14. Ecuación de Darcy – Capacidad de conducción de flujo.....	114
Ecuación 15. Eficiencia filtro anaerobio de flujo ascendente	119
Ecuación 16. Calculo de la concentración de salida	119
Ecuación 17. Tiempo de retención hidráulica del humedal artificial.....	121

RESUMEN

Un panorama actualizado de la situación en que se encuentran los municipios en estudio, es un punto de partida que proporciona las pautas metodológicas para garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, además del mejoramiento de las fuentes hídricas que se han convertido en receptoras primarias de la gran mayoría de desechos generados por las comunidades que se encuentran aledañas a estas.

Los análisis de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, sus avances y la información que se recopila de primera mano en campo, para cada uno de los municipios de la cuenca alta del Río Gualí, sumado a la estimación de las cargas contaminantes vertidas y por medio de caracterizaciones fisicoquímicas de las aguas residuales y las estimaciones de caudal vertido, dará la ruta metodológica para el planteamiento de un sistema de tratamiento, el cual cumpla con lo exigido por la normatividad ambiental vigente en cuanto a límites máximos permisibles.

Dicho sistema será diseñado, teniendo como base las limitaciones existentes en cuanto a desarrollo tecnológico, personal capacitado y recursos para la operación y mantenimiento del mismo.

Palabras Clave: Cuenca Hidrográfica, Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, Tratamiento de Aguas Residuales, Carga Contaminante, Límite Máximo Permisible, Tanque Séptico, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, Humedal.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE MANAGEMENT AND SANITATION OF MUNICIPAL WASTE WATER BASED ON THE FRAMEWORK OF COMPLIANCE WITH RESOLUTION 631 OF MARCH 17, 2015- CASE STUDY - TOLIMA DEPARTMENT

An updated situation they are in the municipalities of study, panorama is a starting point that gives us the methodology to ensure compliance with current environmental regulations guidelines, in addition to improving water sources that have become primary recipient the vast majority of waste generated by communities that are adjacent to these.

Analyses of Sanitation Plans and Management Shedding, progress and information gathered first hand in the field to each of the municipalities of River watersheds Gualí, together with the estimation of pollutant loads discharged by means of physicochemical characterizations of sewage and discharge rate estimates, will give us the methodological approach route for a treatment system which meets the requirements of current environmental regulations regarding permissible ceilings.

This system will be designed, based on the constraints in terms of technological development, trained personnel and resources for operation and maintenance.

Keywords: Watershed, sanitation and management plan shedding, wastewater treatment, Pollutant Load, Máximum Permissible Limit, Septic Tank, Upflow Anaerobic Filter, Wetland.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de ríos y quebradas por la intervención antrópica, especialmente aquella que se deriva de los quehaceres diarios y genera una gran cantidad de aguas residuales domésticas, ocupa el primer puesto en afectación de fuentes hídricas superficiales, ya que estas últimas sirven como cuerpos receptores de los distintos drenajes y redes de alcantarillado de gran parte de las ciudades de nuestro país. Además de lo anterior y como agravante de la situación ya conocida, la ausencia de tratamiento de dichas aguas o en algunos casos, el tratamiento de una pequeña parte de estas que en el común denominador no satisfacen las condiciones técnicas establecidas por la normatividad vigente.

El seguimiento al cumplimiento de estas normas para los usuarios sujetos a cobro de tasa retributiva, específicamente aquellos que son administradores de servicios públicos tales como acueducto y alcantarillado, muestra un panorama no muy alentador para nuestro país, donde en su gran mayoría se realiza el vertimiento de aguas residuales directamente sobre las fuentes hídricas, sin ningún tipo de tratamiento previo.

Consecuentemente con el marco legislativo nacional, los usuarios que vierten sus aguas residuales a fuentes hídricas, al terreno o a la red de alcantarillado, deben legalizarse mediante permisos de vertimientos, que si bien se han desarrollado para el sector industrial, las empresas prestadoras de servicios de acueducto y alcantarillado, deben diseñar, proyectar y desarrollar distintos planes, que tienen inmersas la obras y desarrollos técnicos para cumplir con lo establecido por las normas que rigen estas actividades. Estos planes denominados técnicamente Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), son considerados por las Corporaciones Autónomas Regionales (CARS), como un instrumento de control para identificar el avance de las obras y acciones que van encaminadas a la eliminación de vertimientos y el tratamiento de estas aguas residuales antes de ser vertidas finalmente.

Si bien el gobierno central ha desarrollado normas que están enfocadas a salvaguardar el recurso hídrico, mediante el establecimiento de límites máximos permisibles, se debe fortalecer las bases conceptuales dentro de las administraciones municipales, de tal forma que se conviertan en actores participativos para el mejoramiento de la calidad de los recursos naturales.

El desarrollo del presente estudio muestra una imagen actualizada sobre la situación del recurso hídrico de la cuenca del Río Gualí así como de los vertimientos de aguas residuales domésticas de los municipios de la parte alta de la cuenca del Río Gualí, de los cuales se seleccionaron los municipios de Herveo, Fresno, Falan, Palocabildo y Casabianca, para ser analizados y brindar insumos para el planteamiento de soluciones a los problemas de sus vertimientos así como alternativas viables en cuanto al tratamiento de estas aguas residuales.

OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación y el diagnóstico de la situación actual del manejo de vertimientos de los municipios de Herveo, Casabianca, Palocabildo, Falan y Fresno pertenecientes al Departamento del Tolima jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, en el marco del cumplimiento de la resolución 631 de 2015.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la revisión y evaluación documental sobre los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) presentados por los municipios de Herveo, Casabianca, Palocabildo, Falan y Fresno, para la cuenca alta del Río Gualí en la zona norte del departamento del Tolima
- Proponer alternativas para la eliminación de puntos de vertimientos, acorde a los planes de saneamiento establecidos y programas presentes en los municipios en estudio.
- Proponer el dimensionamiento de un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas, generadas en los municipios de Herveo, Casabianca, Palocabildo, Falan y Fresno, para la cuenca alta del Río Gualí en la zona norte del departamento del Tolima
- Presentar el estimado de las cargas contaminantes generadas actualmente en los municipios en estudio, como base para la implementación de metas de reducción de carga contaminante, acorde a lo establecido por la Resolución 631 de 2015.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN COLOMBIA

La contaminación del recurso hídrico por factores antrópicos se constituye en el común denominador para la gran mayoría de las fuentes hídricas que existen a lo largo y ancho de nuestra geografía nacional, y especialmente aquellas que cruzan por centros poblados y municipios, los cuales no cuentan con los sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados, e incluso la ausencia de estos en la mayoría de los casos, convirtiendo las fuentes hídricas en receptores de desechos urbanos y aguas residuales domésticas e industriales que deterioran la calidad de los sistemas acuáticos.

Es así como el Estudio Nacional del Agua – ENA- del año 2014 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), en su capítulo 6, describe la calidad del recurso hídrico en el país, entregando cifras en las que se identifica que en gran porcentaje la contaminación recibida en los cuerpos hídricos, procede del sector doméstico, por encima del sector cafetero y del sector industrial.

En las Figura 1 y Figura 2 se muestra gráficamente la distribución del impacto o estimación de presión por carga contaminante descrita en el ENA 2014, para los sistemas hídricos a nivel nacional y en el área hidrográfica Magdalena – Cauca respectivamente

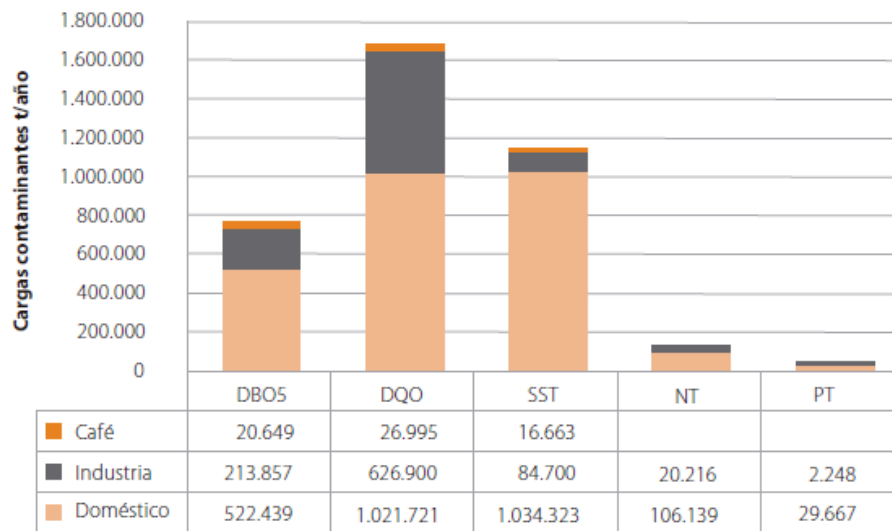


Figura 1. Cargas Contaminantes Potencialmente Vertidas sobre los Sistemas Hídricos (Toneladas/Año) Año 2012.

(Fuente ENA -2014)

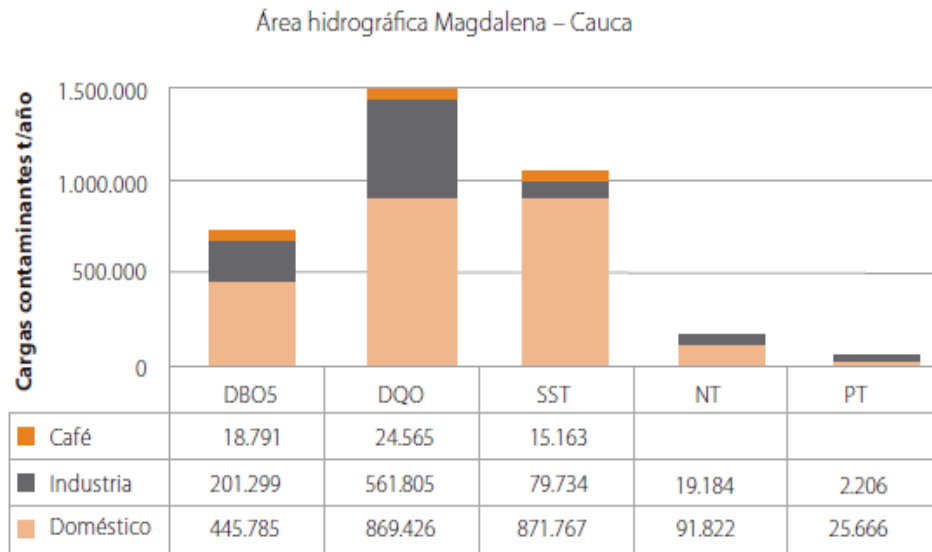


Figura 2. Cargas Contaminantes Potencialmente Vertidas Área Hidrográfica Magdalena – Cauca (t/año) Año 2012.
(Fuente ENA -2014)

El ENA- 2014 señala que en Colombia, para el año 2012, se vertieron a los sistemas hídricos después de tratamiento 756.945 Toneladas/Año de DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), donde el sector doméstico aporta el 69% de esta carga, seguido por el sector industrial con el 28% y el sector cafetero con un 3%.

Se indica en el documento ENA- 2014, que “el 80% de la carga de DBO5 fue aportada por 55 municipios principalmente por las áreas metropolitanas y ciudades grandes del país: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Cúcuta, Villavicencio y Manizales”

Para los SST (Sólidos Suspendidos Totales), se estimó que se aportaron al recurso hídrico alrededor de 1.135.726 Toneladas/año después de tratamiento, con porcentajes de 91%, 7% y 1% para los sectores Doméstico, Industrial y Cafetero respectivamente.

El aporte municipal de vertimiento de SST en Colombia, se genera principalmente en ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Palmira, Bucaramanga, Cartagena entre otros.

Lo que respecta a la DQO (Demanda Química de Oxígeno), se indica por parte de este estudio que fueron vertidas después de tratamiento, para el año 2012 la cifra de 1.675.616 toneladas, distribuidas en 61% para el sector doméstico, 37% el sector industrial y 2% para el sector cafetero.

En cuanto al Nitrógeno Total (NT) se indica que en el año 2012, se vertieron a los sistemas hídricos 126.345 toneladas/año, aportando un 84% el sector doméstico y un 16% la industria. Para este caso no se reportan datos para el sector cafetero.

Para el Fosforo Total (PT) se incorporaron al recurso hídrico 31.915 toneladas/año, para el 2012, reportando el 92% para el sector doméstico y el 7% para el sector industrial. Al igual que para el Nitrógeno no se reportaron datos para el sector cafetero.

Si se analizan los datos anteriores, se puede identificar que el sector doméstico es el que aporta una mayor cantidad de contaminantes al recurso hídrico tanto para el país, como en el área hidrográfica Magdalena – Cauca, donde se desarrolla el presente estudio.

1.1 Estudio normativo para el tratamiento de las Aguas Residuales Domesticas. Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 – Normatividad Colombiana

1.1.1 Normativa nacional

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, profirió el decreto 3930 el 25 de octubre del año 2010, el cual reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI-parte III- libro II del decreto ley 2811 de 1974 en cuanto al uso del agua y residuos líquidos. Además este decreto establece las disposiciones que se relacionan con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos a cuerpos de agua, suelo y alcantarillado.

Este decreto deroga a su vez el decreto 1594 del 26 de junio de 1984, dejando vigente solamente los artículos 20 y 21 de este último, los cuales identifican las sustancias y usuarios de interés sanitario.

El artículo 28 del decreto 3930 de 2010 (modificado por el artículo 1 del decreto nacional 4728 de 2010), dicta lo siguiente:

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dos (2) meses, contados a partir de la fecha de publicación de este decreto, expedirá las normas de vertimientos puntuales a aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Igualmente, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial deberá establecer las normas de vertimientos al suelo y aguas marinas, dentro de los veinticuatro (24) meses, contados a partir de la fecha de publicación de este decreto;

Con base en esto el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible profiere la resolución 631 del 17 de marzo de 2015, por medio de la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Esta resolución cambia el concepto de porcentajes de remoción de carga en kilogramos por día, a valores de concentración en miligramos por litro.

Sumado a esto se discriminan las aguas residuales domésticas y las no domésticas, y se contemplan 56 parámetros para ocho (8) sectores y 73 actividades productivas, argumentando que se tendrá la misma exigencia para casa sector productivo, logrando una mayor equidad y competitividad.

Lo que respecta a los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) fueron inicialmente propuestos como base para la eliminación de puntos de vertimientos y saneamiento de los mismos, siendo estos planes reglamentados por medio de la Resolución 1433 del 13 de diciembre de 2004 (Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial, 2004), la cual a su vez reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 del 2003 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural, 2003).

1.1.2 Normativa regional

En lo que respecta a normativa regional, la Corporación Autónoma Regional del Tolima profiere en el año 2006, cinco (5) Resoluciones en las que establece los objetivos de calidad para diferentes corrientes del departamento, tal como se muestran a continuación:

- **Resolución 600 del 09 de junio de 2006**, por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de Combeima, Chipalo, Opia, Alvarado y Quebrada Cay en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.
- **Resolución 601 del 09 de junio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Coello, Luisa, Venadillo, Sumapaz y Gualí en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.
- **Resolución 803 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Recio, Lagunilla, Sabandija, Totare y Gualí, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.
- **Resolución 804 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Prado, Cucuana y Magalena en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

- **Resolución 805 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Cabrera, Los Angeles y Saldaña de la jurisdicción en la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

Estas resoluciones proferidas por CORTOLIMA, muestran un panorama sobre los usos del recurso y restricciones para las fuentes descritas, así como las limitantes en cuanto a posibles vertimientos a realizar en estas.

No obstante lo antes mencionado, no se cuenta con objetivos de calidad para la totalidad de las fuentes hídricas que son receptoras de vertimientos en el departamento.

Es por esta razón se analizarán las fuentes hídricas receptoras en los municipios, las cuales son impactadas directamente por el vertimiento de aguas residuales domésticas, a la luz del cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, específicamente la resolución 631 del 17 de marzo de 2015 y sus límites máximos permisibles, conforme a la carencia de objetivos de calidad para la mayoría de estos. Esto con la finalidad de proyectar tratamiento de las aguas residuales domésticas, que si bien no vierten como se mencionó anteriormente sobre el Río Gualí el cual posee objetivos de calidad, si impactan las corrientes superficiales sobre las cuales vierten sus aguas sin tratamiento previo.

1.2 Tendencia del tratamiento de aguas residuales domésticas municipales.

Mucho se ha estudiado sobre los sistemas de tratamiento y su eficiencia, aplicación, mejor opción y aplicabilidad. No obstante se analizan algunos sistemas de tratamiento y la tendencia a la implementación de estos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en municipios y centros poblados.

En el documento denominado **Avances Conceptuales Para el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas (ARD) en el Trópico y Estudio de Casos**, desarrollado por la empresa BIOTEC (BIOTEC, 1999), se establece que los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas deben ser vistas como un proceso productivo en el que por medio de análisis del agua, se puede identificar su eficiencia en la generación de un producto específico, que en últimas son valores agregados de este proceso, tales como gas combustible, lodos con capacidades orgánicas y mejoradores de tierras (Abonos) y desde luego el agua que contiene materia orgánica que mediante riego puede beneficiar las características de los terrenos donde se vierten de manera controlada y óptima. Así mismo dejar un poco la imagen de caja negra que se fundamenta en la eliminación de contaminantes o el cumplimiento con requerimientos de las Autoridades Ambientales, claro está sin perder el objetivo primordial que se basa

en disminuir la cantidad de contaminantes que se vierten a cuerpos de agua o al terreno.

De igual manera se establece que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), son desarrolladas teniendo en cuenta dos niveles fundamentales, los cuales son los costos de inversión, operación - mantenimiento para el tratamiento del agua, los porcentajes de remoción o límites de concentración establecidos por la ley, y como segundo aspecto los aportes que tienen estas a la economía productiva.

El primero es analizado de forma tal que se revierta a la tarifa del usuario final y el segundo cómo puede aportar a la sostenibilidad del proceso de tratamiento como tal.

Además la operación y funcionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que recojan las aguas de alcantarillados combinados (aguas lluvias y aguas negras) o de alcantarillados sanitarios (solo aguas residuales), son muy diferentes teniendo en cuenta los volúmenes de agua a tratar, y las obras o estructuras que deben garantizar una constante de flujo hacia el sistema de tratamiento, así como las eficiencias esperadas para las PTAR.

BIOTEC plantea algunos de los sistemas de tratamiento tipo, para el tratamiento de aguas residuales domésticas municipales, las unidades que las componen y el manejo de los subproductos que se generan en estos, tanto de tipo aerobio como anaerobio.

La Figura 3 muestra el esquema que compone un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, por lodos activados, y tratamiento de lodos provenientes de un clarificador secundario y el reactor de lodos activos, así mismo las opciones de manejo de estos lodos y su disposición final.

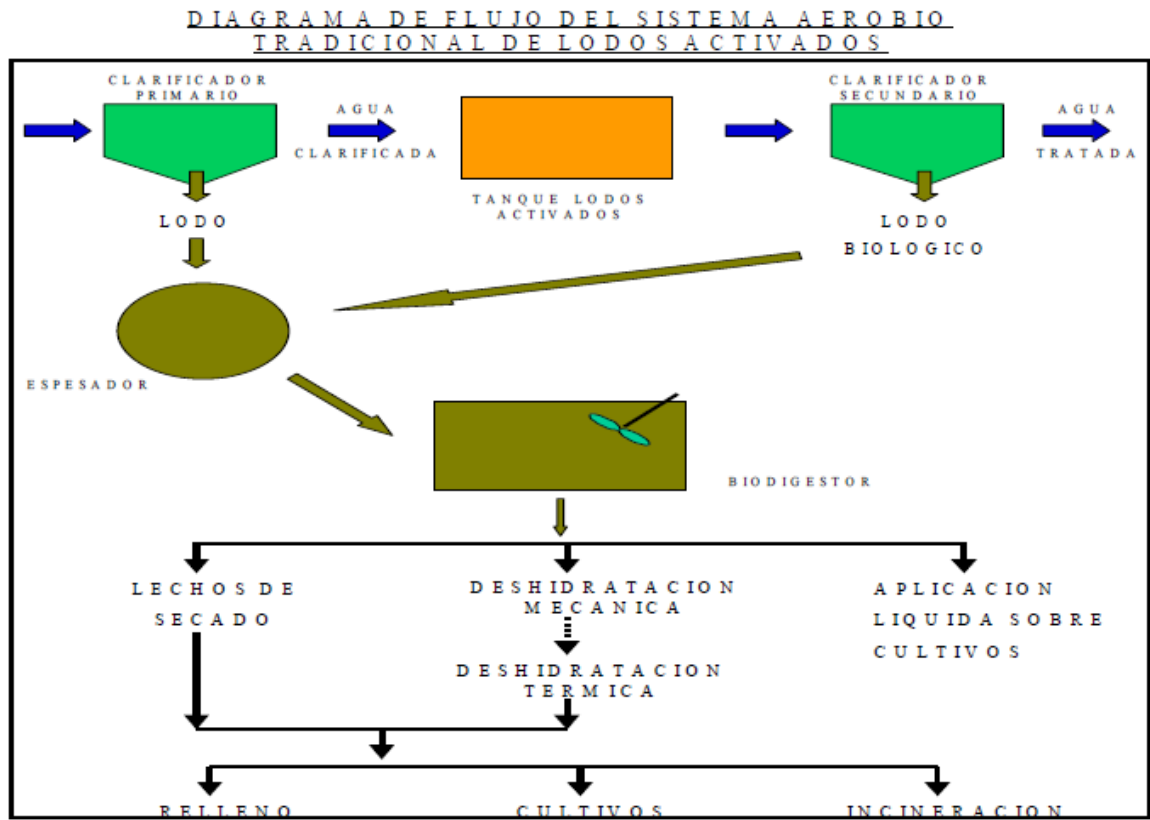


Figura 3. Diagrama Sistema de Tratamiento por Lodos Activados – Aerobio.

La Figura 4 muestra el esquema de tratamiento para un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas, de tipo anaerobio, compuesto por un reactor UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), filtro percolador, clarificador y manejo de lodos provenientes del UASB y el clarificador.

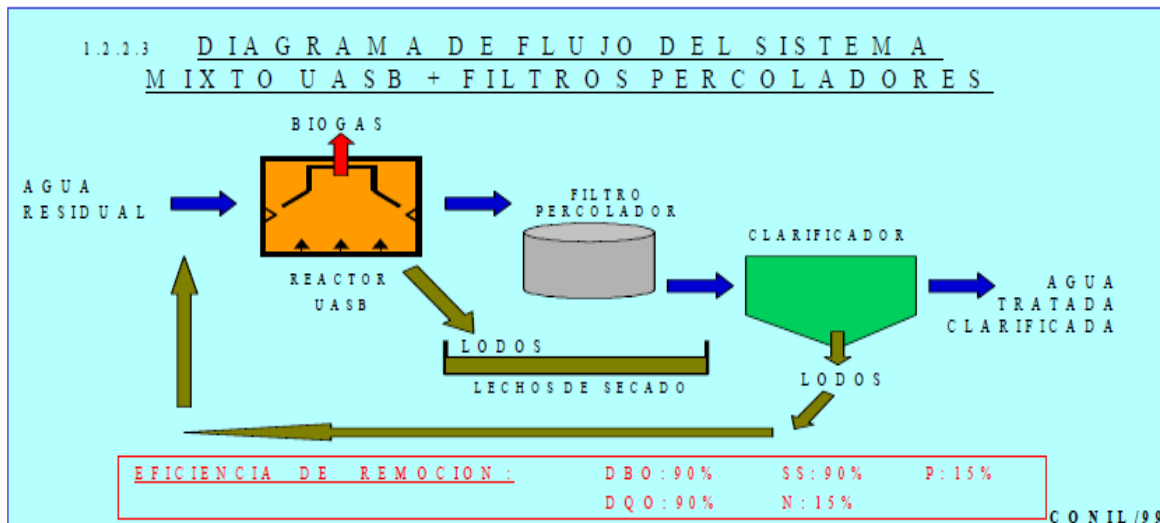
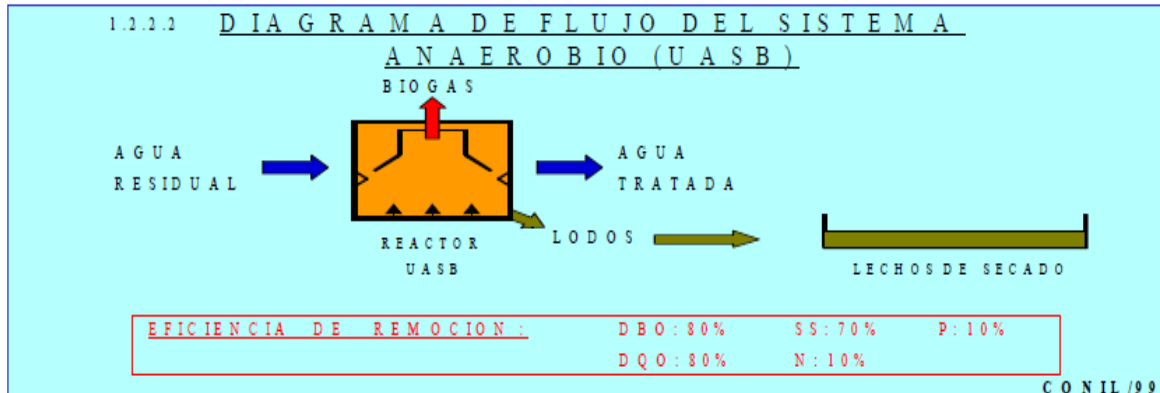


Figura 4. Sistema de tratamiento por medio de UASB – Anaerobio

Además de esto, se muestran los porcentajes de remoción que se presumen en cada uno de estos sistemas, si se tiene en cuenta el tratamiento de los lodos generados y de los gases para el caso del sistema anaerobio.

La Figura 5 muestra los porcentajes de remoción que se obtienen para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, Aerobio por Lodos activos y Anaerobio por medio de UASB.

El sistema de lodos activos más clarificador, presenta según lo estimado por BIOTEC, una remoción de la DQO del 90% si se trata la totalidad de los lodos, bajando a un porcentaje de remoción del 40 si no se lleva a cabo tratamiento para estos.

Para el sistema compuesto por un UASB se indica el porcentaje del 80% para la DQO, si se trata el gas y el lodo, y 70% si solo se trata el gas y 0% si no se tratan los lodos provenientes de este. Cabe aclarar que la Figura 4, muestra remociones del orden del 90% para la DQO, si se cuenta con un sistema compuesto por UASB, Filtro Percolador, Clarificador y lecho de secado de lodos.

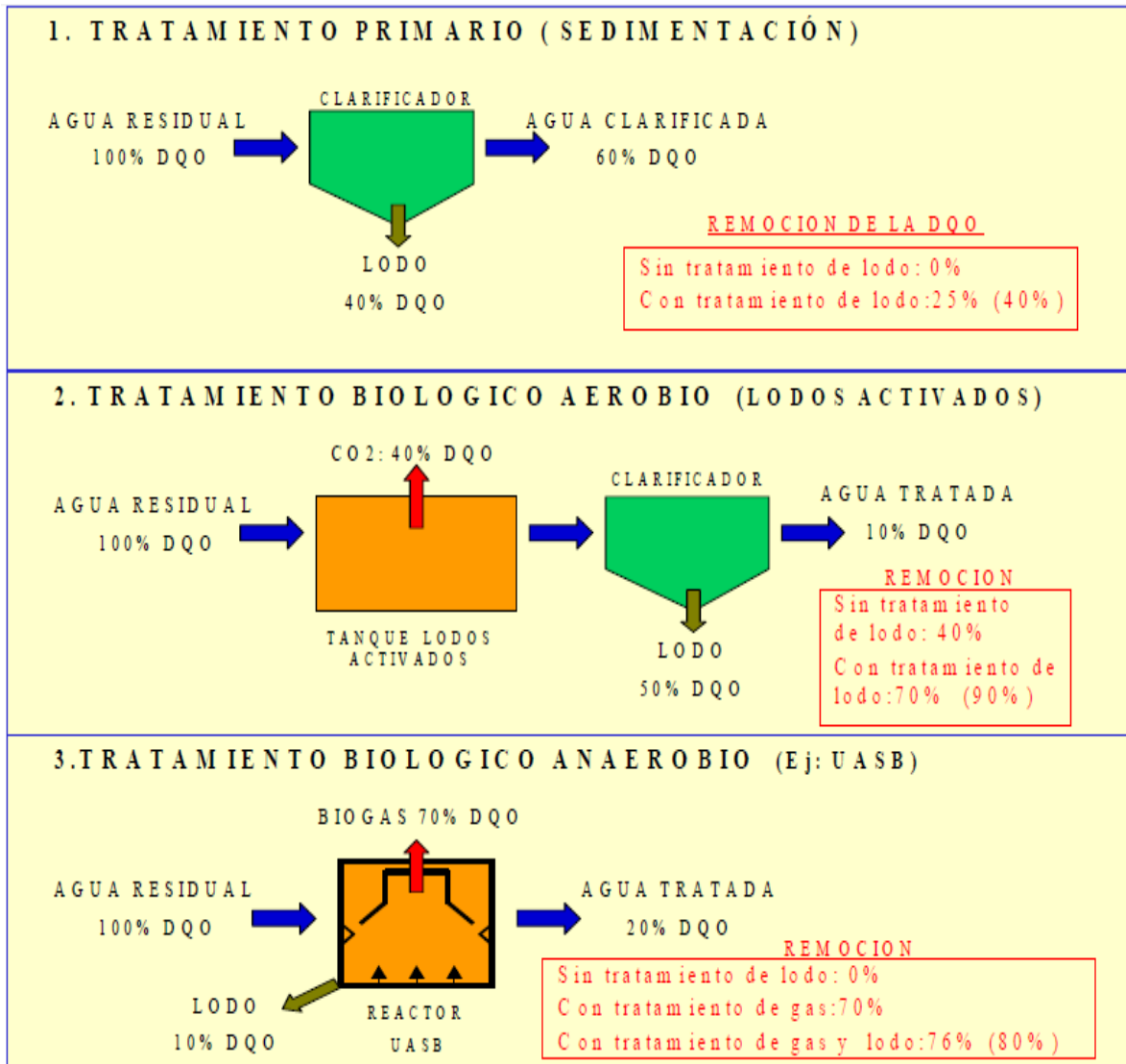


Figura 5. Remociones estimadas en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas – Lodos Activos y UASB.

Esto concuerda con lo descrito en el libro Tratamiento de Aguas Residuales – Teoría y Principios de diseño (Jairo Alberto Romero Rojas, 2004), para lo cual el sistema de lodos activos (Sistema Aerobio) presenta una remoción promedio entre el 80 y 85 % para la DQO, mientras que un sistema compuesto por un UASB muestran en promedio remociones entre el 60 y 70 % para la DQO, en este caso sin clarificador secundario.

BIOTEC define los costos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en unidades de dólares por cada habitante a servir o centavos de dólar por metro cubico de agua tratada. Es importante aclarar que esto se define para todas las etapas del proceso de contratación, donde están incluidos los diseños, construcción, montaje de equipos y puesta en marcha del sistema. Este proceso es denominado Llave en Mano.

En la Tabla 1 se analizan los costos de inversión, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas presentados en el documento **Avances Conceptuales Para el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas (ARD) en el Trópico y Estudio de Casos** por la empresa BIOTEC.

COSTOS DE INVERSIÓN DEL TRATAMIENTO		
SISTEMA A IMPLEMENTAR	Costos US cent/m ³	Costos US \$/hab
Primario + Lodos	2.4	40
Tanque de Lodos Activados	1.8	30
Total Lodos Activados	4.2	70
UASB + Filtros Percoladores	2.4	40
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Costos US cent/m ³	Costos US \$/hab
Primario + Lodos	2 a 6	1.1 a 3.3
Tanque de Lodos Activados	5 a 8	2.7 a 4.4
Total Lodos Activados	7 a 14	3.8 a 7.7
UASB + Filtros Percoladores	2 a 5	1.1 a 2.7

Tabla 1. Costos de las alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas (Fuente BIOTEC)

Si se comparan por costos los sistemas tipo que se plantean por parte de BIOTEC, se evidencia que los costos de inversión para la implementación del tratamiento, así como los costos relacionados con la operación y mantenimiento, son más bajos para los sistemas anaerobios, en este caso específico el sistema compuesto por reactor UASB y Filtros Percoladores.

A continuación en la *Figura 6* se muestra una tabla extraída de la revista EIA-Escuela de Ingeniería de Antioquia (Revista EIA, 2012) en la que se realiza una comparación entre los tratamiento de agua residual domésticas tanto de tipo aerobio como anaerobio, donde se contrastan los requerimientos de área, energía, requerimientos de pos tratamientos y subproductos entre otros.

PARÁMETRO	AEROBIO	ANAEROBIO
Reacción que gobierna	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{biomasa}$	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + \text{biomasa}$
ΔG°	-2840 KJ/mol glucosa	-393 KJ/mol glucosa
Energía (E)	60 % almacenada en nueva biomasa 40 % perdida como calor	5-7 % almacenada en nueva biomasa 3-5 % perdida como calor 90 % retenida como CH_4
Coefficiente de producción celular (Y)	Alto 0.40-0.50 gSSV/gDQO _{removida}	Bajo Y ₁ : Bacterias metanogénicas: 0,03 gSSV/gDQO _{removida} Y ₂ : Bacterias acidogénicas: 0,15 gSSV/gDQO _{removida}
Requisito de nutrientes	Alto DBO ₅ :N:P=100:5:1	Bajo Biomasa con bajo coeficiente Y (~0,05 gSSV/gDQO _{removida}), Ej. degradación de AGV; DQO:N:P= 1.000:5:1 Biomasa con alto coeficiente Y (~0,15 gSSV/gDQO _{removida}) Ej. degradación de carbohidratos DQO:N:P= 350:5:1
Requisito alcalinidad bicarbonática	Bajo - Moderado	Alto - Moderado
Requisito energía para aireación	Alto	No requiere
Requisito de área	Alto	Bajo
Costos de implementación	Altos	Bajos
Calidad lodo de exceso	Requiere estabilización	Lodo estabilizado
Periodo de arranque	Bajo - Medio	Medio - Alto
Tolerancia altas cargas orgánicas	Sí	Sí
Eficiencia tratamiento ARD	>80 %	65-80 %
Requisito etapa primaria de separación sólido-líquido	Frecuente	Poco frecuente
Necesidad de postratamiento para reducción de materia orgánica carbonácea	Poco frecuente	Frecuente
Necesidad de postratamiento para reducción de materia orgánica nitrogenada, fósforo y patógenos	Sí	Sí
Requisito etapa de separación sólido y líquido posterior	Frecuente	Poco frecuente
Requisito recirculación biomasa para mantener edad de lodo	Frecuente	No requiere
Almacenamiento de lodo activo	No	Sí (meses)
Producción de metano (combustible)	No	Sí
Potencial en la producción de hidrógeno (combustible, materia prima)	No	Sí**
Impacto ambiental (olores)	Bajo - Moderado	Alto - Moderado
Generación de gases efecto invernadero -GEI-	Alta	Baja***

Figura 6. Tabla comparativa entre tratamientos Aerobios y Anaerobios

Al analizar la información de la figura anterior, se concluye que los sistemas anaerobios requieren menos área para su implementación, generan menos lodos y a su vez los lodos generados se encuentran estabilizados, producen gas natural como sub producto y según la experiencia no requieren de costos elevados de energía dado que no requieren aireación y se puede trabajar utilizando la diferencia de niveles para aprovechar el flujo por gravedad (solo bombeo de los

lodos del clarificador hacia el UASB), se puede concluir que los sistemas de tratamiento más adecuado para los municipios en estudio son los de tipo anaerobio.

Con base en lo anterior y a sabiendas que el factor económico intrínseco es la cantidad de energía que se necesitaría para aireación y retorno de lodos en sistemas aerobios como lodos activos, los requisitos de área para su construcción y costos asociados a este y aquellos relacionados con el mantenimiento, es un factor decisivo para la elección de la tecnología a implementar, se plantea como solución sistemas de tipo anaerobios para los puntos que se encuentren no conectados a la red de alcantarillado existente en la actualidad, o aquellos que por cuestiones de topografía no sea técnicamente viable conectarse a la red principal de evacuación de aguas residuales domésticas.

1.3 Situación actual de la contaminación por efectos de las aguas residuales domésticas en el departamento del Tolima

El departamento del Tolima no es ajeno a la problemática general que se presenta en el país, donde se evidencia el deterioro de las fuentes hídricas por el vertimiento excesivo de cargas contaminantes por las aguas residuales domésticas y no domésticas, y en la mayoría de los casos sin tratamiento previo.

El documento denominado Plan de Gestión Ambiental Regional del Tolima 2013-2023 (CORTOLIMA, 2012), en su numeral 3.3.2.1, denominado Objetivos de Calidad indica lo siguiente:

Gran parte de los municipios del Departamento del Tolima, recolectan las aguas residuales domésticas (Aguas servidas) y lluvias en sistemas de alcantarillado combinados, para ser posteriormente descargadas o vertidas en diferentes puntos del medio natural, sin tratamiento alguno, sobre el suelo o sobre las fuentes hídricas que circulan a través del municipio en diversos sentidos, trayendo como consecuencia el deterioro en la calidad de los recursos hídricos, afectación de la biota, impactos negativos en el paisaje, sedimentación en los cauces de las fuentes hídricas y disminución de su capacidad de transporte, inundaciones en zonas bajas, generación de vectores y focos de infección. El establecimiento de objetivos de calidad en tramos de las corrientes hídricas, posibilita garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en términos de calidad y planificar el vertimiento de aguas servidas, acorde a las necesidades de la sociedad y de los ecosistemas.

El documento hace hincapié sobre las resoluciones proferidas por Cortolima para los objetivos de calidad de las corrientes superficiales que reciben los vertimientos, que como bien lo expresa el párrafo anterior, se establecen con el fin de blindar el recurso y garantizar el mantenimiento de condiciones óptimas de los ecosistemas hídricos.

En documentos en proceso de oficialización, generados por el grupo de metas de descontaminación (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

-CORTOLIMA, 2016) adscritos a la subdirección de Calidad Ambiental de Cortolima, se presenta la línea base y el diagnóstico de los municipios del Tolima, donde se describen las poblaciones que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, y aquellos que no cuentan con estos.

En este documento se identificó por parte de Cortolima que de los 47 municipios que hacen parte del departamento, 27 municipios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para su casco urbano, los cuales se nombran a continuación:

- Alpujarra
- Alvarado
- Ambalema
- Anzoátegui
- Armero Guayabal
- Casabianca
- Coello
- Espinal
- Flandes
- Guamo
- Honda
- Ibagué
- Icononzo
- Lérica
- Líbano
- Murillo
- Piedras
- Prado
- Purificación
- Rovira
- Saldaña
- San Antonio
- San Luis
- Santa Isabel
- Suarez
- Valle de San Juan
- Venadillo

Es de aclarar que el municipio de Ibagué cuenta con tres (3) sistemas de tratamiento para la zona urbana, que tratan solo un porcentaje de las aguas residuales generadas. El resto de las aguas son vertidas sin tratamiento previo sobre las fuentes hídricas que cruzan la capital tolimense.

Se identificó que de los municipios que cuentan con sistemas de tratamiento, siete (7) sistemas se encontraron fuera de funcionamiento por problemas en sus estructuras o en By Pass por falta de mantenimiento. Los municipios que se encontraron con este problema fueron Ambalema, Casabianca, Coello, Murillo, Piedras, Saldaña y San Antonio.

Además el grupo de metas de descontaminación identificó que solamente los municipios de Armero Guayabal, Purificación y Suarez tratan la totalidad de sus aguas mediante sistemas.

1.4 Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en el Departamento del Tolima.

Entre los años 2006 y 2009 se requirió por parte de la Corporación a los municipios y Empresas de Servicios Públicos responsables de la administración de los alcantarillados municipales, la presentación de los Planes de Saneamiento

y Manejo de Vertimientos (PSMV), bajo la estructura y requisitos que enmarca la Resolución 1433 del 13 de diciembre de 2004 (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2013)

Estos planes fueron aprobados y algunos de ellos requeridos para que fueran complementados, los cuales son sujetos de seguimiento de carácter técnico, para la evaluación y verificación de avance en las obras propuestas.

El departamento del Tolima cuenta con 48 Planes de Saneamiento y Manejo de vertimientos en su totalidad, para los 47 municipios que conforman su territorio, de los cuales dos perteneces a la ciudad de Ibagué, uno para la zona Urbana administrado por la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado S.A E.S.P OFICIAL y otro para la zona rural, administrado por la Alcaldía Municipal.

Cortolima realizó una revisión bibliográfica de los PSMV de los 47 municipios, por medio del grupo de establecimiento de metas de descontaminación (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA, 2016), identificando que seis (6) de los planes presentados a la corporación no han sido aprobados a la fecha y se encuentran en proceso de requerimientos y contravención.

Los municipios que no cuentan con PSMV aprobado en la actualidad son:

- CASABIANCA
- PALOCABILDO
- PRADO
- PLANADAS
- CAJAMARCA
- SAN LUIS

De los municipios que serán objeto de estudio en el presente trabajo, solamente cuenta con aprobación del respectivo PSMV los municipios de Herveo, Fresno y Falan, faltando por aprobar los municipios de Palocabildo y Casabianca. Estos serán analizados más adelante en el capítulo 3 y siguientes numerales.

1.5 Planes de ordenación del recurso hídrico en la jurisdicción de Cortolima.

Según la Guía Técnica Para La Formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) define por cuenca u hoya hidrográfica como:

El área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar, tal como lo indica el artículo 3 del Decreto 1640 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

De igual forma se indica que la cuenca se identifica como una unidad adecuada para la planificación ambiental de todo el territorio, conforme a que los límites

físicos y geográficos son mantenidos por más tiempo comparadas con otras unidades que se analizan, involucrando factores sociales y espaciales, lo que permite un análisis global del territorio a estudiar.

La Guía Técnica Para La Formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), retoma lo descrito por Dourojeanni et ál. (2002) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), donde se mencionan las siguientes razones que explican este contexto:

- “Las características físicas del agua generan un grado extremadamente alto y en muchos casos imprevisible, de interrelación e interdependencia entre los usos y los usuarios en una cuenca, (...) formando un sistema integrado e interconectado”.
- Las cuencas constituyen un área donde interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua con los sistemas físicos (recursos naturales) y bióticos (flora y fauna). Los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente tierra, acarrearán aguas arriba una modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar.
- En las cuencas, se produce la interrelación e interdependencia entre los sistemas físicos y bióticos y el sistema socio económico (...) La dependencia de un sistema hídrico compartido y de los caminos y vías de acceso y el hecho de que deban enfrentar riesgos similares, confieren a los habitantes de una cuenca características socioeconómicas y culturales comunes. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Según la página oficial de la CORTOLIMA (CORTOLIMA, s.f.), el departamento del Tolima, cuenta con 18 cuencas en total, de las cuales 10 cuentan con POMCA adoptado y en ejecución, los cuales se muestran a continuación:

- Cuenca Río Lagunilla.
- Cuenca Río Recio.
- Cuenca Río Totare.
- Cuenca Río Coello
- Cuenca Río Prado
- Cuenca Río Amoya.
- Cuenca Río Saldaña – Anamichu.
- Cuenca Río Saldaña – Mendarco.
- Cuenca Río Saldaña – Guanábano.
- Cuenca Río Gualí.

Considerando que los municipios mencionados en el objeto del presente estudio hacen parte de la cuenca hidrográfica de los Ríos Gualí, Sabandija y Recio a continuación se presentan pormenores relacionados con las cuencas y los municipios seleccionados:

La Corporación Autónoma Regional del Tolima, bajo el acuerdo N° 017 del 12 de diciembre de 2014, “*por medio de la cual se adopta el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Gualí y se dictan otras disposiciones*” (CORTOLIMA, 2014), el cual se estructuró con los siguientes componentes

- FASE DE APRESTAMIENTO
- FASE DE DIAGNOSTICO
- FASE DE FORMULACIÓN
- FASE PROSPECTIVA Y ZONIFICACIÓN
- GESTIÓN DE RIESGOS.

En la fase de Diagnostico desarrollada a lo largo de esta cuenca, se muestra un informe descriptivo sobre la ubicación geográfica y la calidad del agua a lo largo de las estaciones de monitoreo implementadas sobre la misma.

Esta cuenca se describe en dicho POMCA de la siguiente manera:

La cuenca hidrográfica del río Gualí se encuentra localizada al norte del departamento del Tolima, enmarcada en las coordenadas planas.

Xmin: 750.0000 Xmax: 930.000
Ymin: 1030.000 Ymax: 1080.000

Límites hidrográficos de la cuenca

Norte: Cuenca del rio Guarinó
Sur: Cuencas de los ríos lagunilla y Sabandija
Oriente: Aporta a la cuenca del rio Grande de la Magdalena
Occidente: Cuenca del rio Chinchiná
(FUENTE POMCA GUALÍ-2014)

En la Figura 8 se muestra la ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica del Río Gualí.

La cuenca mayor del río Gualí se ubica al norte del departamento del Tolima entre las cuencas de los ríos Guarinó, Lagunilla y Sabandija, donde se encuentran los municipios de: Honda, Mariquita, Falan, Fresno, Herveo, Casabianca, Palocabildo.

En la Tabla 2 se presenta la distribución de los municipios para las áreas de las cuencas del Río Gualí. Esta distribución corresponde a la totalidad del área del municipio (rural y urbano) que se sobrepone al área de la cuenca del Río Gualí.

Municipio	Área total municipal (Ha)	%	Área incluida en la cuenca (Ha)	%
Honda	30650,06	9,46	2900,64	3,69
Mariquita	29328,37	78,01	22879,19	29,11
Falan	17633,81	6,82	1202,03	1,53
Fresno	22484,63	64,27	14450,28	18,38

Herveo	31810,93	74,72	23770,21	30,24
Casabianca	18241,17	64,62	11787,45	15,00
Palocabildo	6347,44	25,34	1608,45	2,05
Total	156496,41	50,22	78598,24	10

Tabla 2. Áreas Municipales en la Cuenca del Río Gualí.
(FUENTE CORTOLIMA – POMCA GUALÍ- 2014)

Así mismo la Figura 7 muestra la distribución porcentual de las áreas municipales que hacen parte de esta cuenca, con sus respectivos municipios.

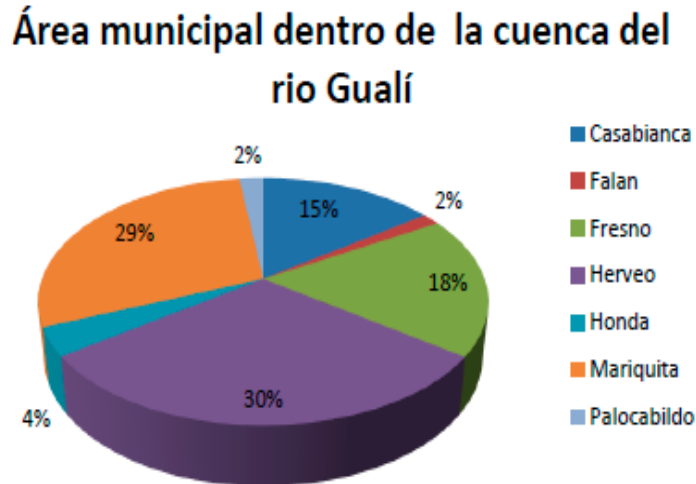


Figura 7. Áreas Municipales de los Municipios Pertenecientes a la Cuenca del Río Gualí.
(FUENTE CORTOLIMA – POMCA GUALÍ-2014)

Lo que respecta a la calidad del recurso hídrico, el POMCA del Río Gualí muestra una distribución sobre la cuenca y la calidad del agua a lo largo de su trayectoria. Para este fin se determinaron veinte (20) estaciones de monitoreo, las cuales se enuncian a continuación:

- E01: Quebrada La Ciega antes del casco urbano del municipio de Herveo.
- E02: Quebrada La Ciega, abajo del casco urbano de Herveo, 100 m aguas abajo de la descarga y garantizando la mezcla completa con la quebrada Aguacatal.
- E03. Río Gualí. Antes Casco Urbano Fresno - Puente entre Fresno y Casabianca
- E04: Río Gualí – cuenca alta, aguas arriba del municipio de Herveo.
- E05: Quebrada San José antes del centro poblado de San Jerónimo – Casabianca.
- E06: Quebrada San José abajo del centro poblado de San Jerónimo, 100 m aguas abajo del centro poblado de San Jerónimo – Casabianca
- E07: Río Gualí a la altura del municipio de Palocabildo – cuenca media del río.
- E08: Río Medina, parte alta antes del municipio de Fresno.
- E09: Río Medina. Después del municipio de Fresno
- E10: Río Medina, 100 m antes de desembocar sobre el río Gualí
- E11: Río Sucio antes del casco urbano de Fresno.
- E12: Río Sucio, abajo del casco urbano de Fresno, donde haya recibido todas las descargas de aguas residuales.
- E13: Río Sucio antes de la desembocadura sobre el río Gualí
- E14: Río Gualí, aguas debajo de la desembocadura del río Sucio, municipio de Mariquita.
- E15: Río Gualí, antes del casco urbano de Mariquita (punto de captación), vía Mariquita – Fresno.

- E17: Quebrada Peñón 100 m antes de la desembocadura sobre el río Gualí, municipio de Mariquita.
- E18: Quebrada Padilla, aguas arriba del municipio de Honda.
- E19: Quebrada Padilla, aguas abajo del municipio de Honda.
- E20: Río Gualí, antes de la desembocadura al río Magdalena.

A continuación se muestra gráficamente la ubicación de las estaciones sobre la cuenca del Río Gualí:

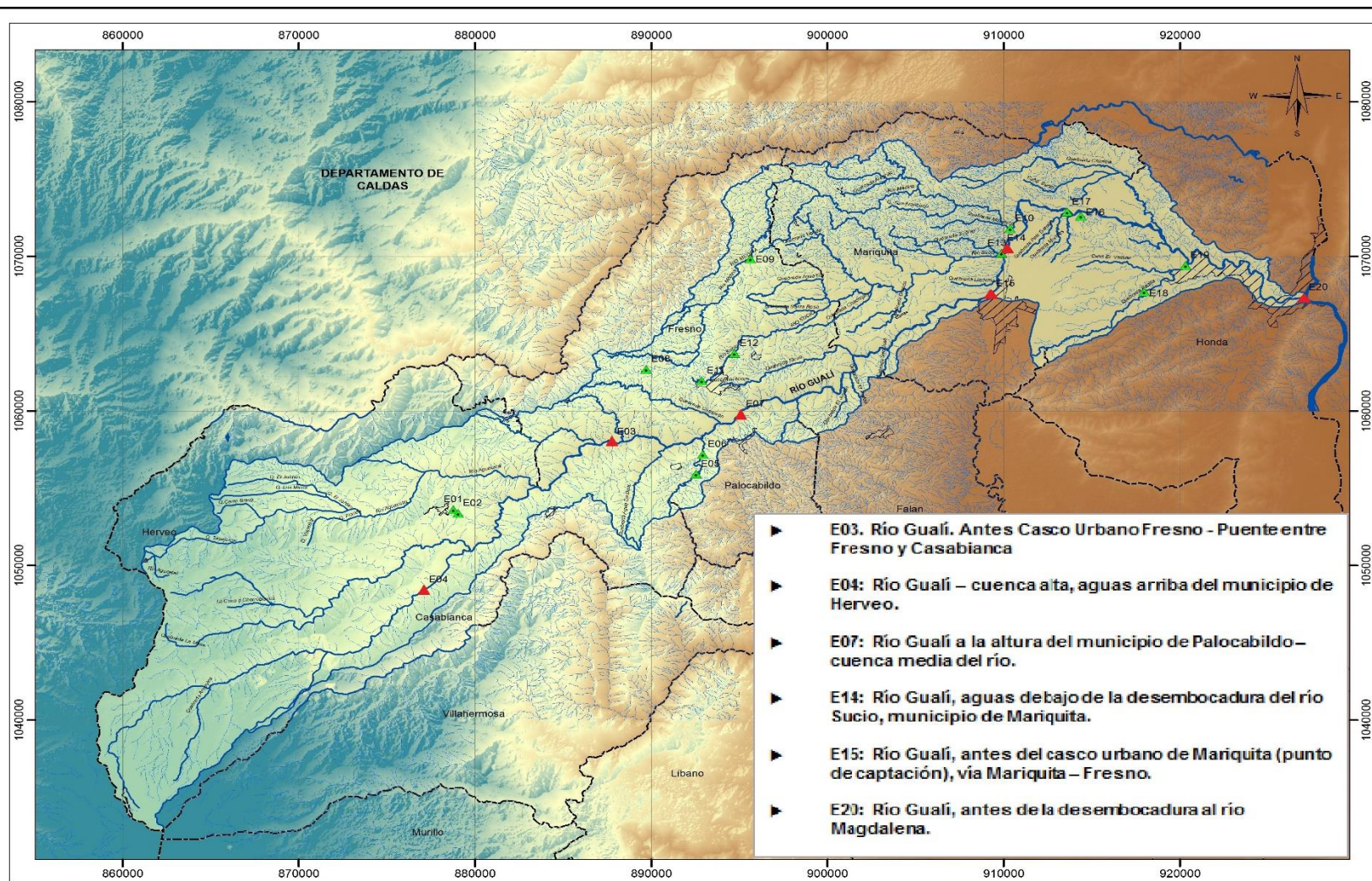


Figura 9. Ubicación Estaciones Cuenca Río Gualí – Estaciones Corriente Principal
 (Fuente CORTOLIMA- POMCA Gualí-2014)

Bajo esta premisa en el desarrollo del POMCA, se calculan los índices de calidad de la cuenca para cada una de las estaciones antes mencionadas, reportando las condiciones de las corrientes a las alturas de los municipios que intervienen antrópicamente estas fuentes de agua, entre los que se encuentra el ICA (índice de Calidad de Agua) como se muestra a continuación. Es de notar que las estaciones E3 (Río Gualí. Antes Casco Urbano Fresno - Puente entre Fresno y Casabianca) y E9 (Río Medina después del Municipio de Fresno) no son calculadas por el POMCA.

Índice de calidad de agua (ICA): Mide la calidad fisicoquímica del agua en una escala de 0 a 100, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso, este valor se refiere principalmente para potabilización. En términos generales la cuenca presenta una calidad del agua regular (Tabla 3). (CORTOLIMA, 2014B)

Los resultados muestran que la Estación 1 (E1 Quebrada La Ciega antes del casco urbano del municipio de Herveo) arroja una valoración de calidad mala. El resto de las estaciones muestran condición regular en la valoración de calidad.

Estación	WQI	Calidad	Color
E1	49	Mala	
E2	69	Regular	
E4	58	Regular	
E5	69	Regular	
E6	70	Regular	
E7	54	Regular	
E8	69	Regular	
E10	71	Buena	
E11	70	Regular	
E12	68	Regular	
E13	68	Regular	
E14	60	Regular	
E15	54	Regular	

E17	65	Regular	
E18	69	Regular	
E19	70	Regular	
E20	57	Regular	

Tabla 3. Valores del Índice ICA Para la Cuenca del Río Gualí
(FUENTE CORTOLIMA – POMCA GUALÍ -2014)

No obstante se calcula el mismo índice ICA para la cuenca del Río Gualí, por medio de la metodología descrita por el IDEAM (IDEAM, 2011), teniendo en cuenta los valores que se reportan de los muestreos realizados en la realización del POMCA del Río Gualí, los cuales son presentados en el Anexo 1.

La clasificación según el IDEAM, se presenta en la Tabla 4.

Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA		
Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	azul

Tabla 4. Clasificación de la Calidad del Agua Según Valores ICA.
(FUENTE: IDEAM – 2011)

Tal como se mencionó anteriormente, se calcularon los valores para el ICA en cada una de las estaciones que se utilizaron para el POMCA GUALÍ, lo que muestra los siguientes resultados, clasificados por Estación de monitoreo, Valor del ICA, Calidad y Color que lo clasifica. La Tabla 5 muestra la clasificación encontrada:

ESTACIÓN	VALOR ICA	CALIDAD	COLOR
E1	0.69	Regular	
E2	0.86	Aceptable	
E3	0.68	Regular	
E4	0.57	Regular	
E5	0.87	Aceptable	
E6	0.93	Buena	

E7	0.67	Regular	Yellow
E8	0.92	Aceptable	Green
E9	0.93	Aceptable	Green
E10	0.87	Aceptable	Green
E11	0.92	Aceptable	Green
E12	0.88	Aceptable	Green
E13	0.91	Aceptable	Green
E14	0.70	Regular	Yellow
E15	0.60	Regular	Yellow
E16	0.82	Aceptable	Green
E17	0.80	Aceptable	Green
E18	0.69	Regular	Yellow
E19	0.77	Aceptable	Green
E20	0.72	Aceptable	Green

Tabla 5. Valores ICA – Metodología IDEAM.
(Fuente Propia, derivado de Pomca Gualí-2014)

Cabe aclarar que el ICA que se presenta en el POMCA GUALÍ, se calculó con más parámetros (incluido Coliformes entre otros) que el que se estimó por la metodología del IDEAM, lo que difiere en las calidades como se muestra en la Tabla 5, mostrando mejores resultados mediante la última metodología.

Basados en la metodología del IDEAM, las estaciones E1, E3, E4, E7, E14, E15 y E18, presentaron condición regular. El resto reportan condición aceptable menos la estación E6 que presentó condición Buena.

Esta comparación permite mostrar que la metodología que se utiliza por parte del IDEAM es más laxa que la que se encontró en el POMCA del Gualí, conforme a que el primero no tiene en cuenta parámetros importantes como Coliformes, lo cual se estima de gran importancia en la calidad de agua superficial.

En el desarrollo del POMCA GUALÍ, además de los índices de calidad de agua, se calculan los índices hidrológicos de retención y regulación hídrica, Uso del Agua y de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, como se muestran a continuación.

Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH): Para el IDEAM (IDEAM, 2010), *“el Índice de Retención y Regulación Hídrica, evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca”*; este indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Este índice se calcula con base en la curva de duración de caudales medios diarios, curva de frecuencias que permite reconocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de caudales medios e interpretar, de manera general, las características del régimen hidrológico de un río y el comportamiento de la retención y la regulación de la humedad en la cuenca.

La Tabla 6 presenta la calificación de los rangos de valores IRH, establecidos en el ENA, 2010.

Rango IRH	Calificación	Descripción
>0.85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0.75-0.85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0.65-0.75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0.50-0.65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
<0.50	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Tabla 6. Calificación de los rangos de valores para el Índice de retención y Regulación Hídrica (IRH)
(Fuente POMCA GUALÍ - 2014)

“El IRH es el producto de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios”; En la Tabla 7, se muestra el índice de retención y regulación hídrica para las subcuencas del río Gualí, identificándose un índice de retención alto, en las subcuencas de los ríos Aguacatal, Cajones y Alto Gualí, que se ubican en la parte alta de la cuenca del río Gualí.

Las áreas con IRH moderado, se presentan en la parte alta y media de la cuenca, específicamente en las subcuencas de las Quebradas el Guarumo, San Rafael, Campeón, Agua de Dios, San José, Oromazo, Nicua, Padilla y los ríos Medina, Sucio, Bajo Gualí.

Las áreas de bajo IRH, se localizan en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Gualí y se distribuyen en las subcuencas de la Quebrada Chimine y Padilla; la Tabla 7, muestra los valores, calificación y descripción del IRH, para las diferentes subcuencas (NSS), que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí

CUENCA	IRH	Calificación	Descripción
Q. Padilla	0.66	Moderada	Media retención y regulación de humedad
R. Aguacatal	0.77	Alta	Alta retención y regulación de humedad
R. Cajones	0.77	Alta	Alta retención y regulación de humedad
R. Medina	0.68	Moderada	Media retención y regulación de humedad
R. Sucio	0.69	Moderada	Media retención y regulación de humedad
R. Alto Gualí	0.76	Alta	Alta retención y regulación de humedad
R. Bajo Gualí	0.73	Moderada	Media retención y regulación de humedad
R. Medio Gualí	0.75	Alta	Alta retención y regulación de humedad
Q. Agua de Dios	0.74	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. Campeón	0.72	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. Chimine	0.62	Baja	Baja retención y regulación de humedad
Q. El Guarumo	0.74	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. Nicua	0.72	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. San José	0.73	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. Morales	0.64	Baja	Baja retención y regulación de humedad
Q. Oromazo	0.72	Moderada	Media retención y regulación de humedad
Q. San Rafael	0.73	Moderada	Media retención y regulación de humedad

Fuente: HTM-GOTTA, (2013)

Tabla 7. Valores del Índice de retención hídrica (IRH) para las subcuencas (NSS) que conforma la cuenca hidrográfica del río Gualí
(FUENTE POMCA GUALÍ- 2014)

Índice de uso del agua (IUA)

Según lo descrito por el IDEAM (IDEAM, 2010), tomado como referencia para el desarrollo del POMCA GUALÍ, el “Índice de Uso del Agua (IUA), es la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo determinado (Anual, mensual) y en una unidad espacial de análisis” (Área, zona, subzona, entre otras), en relación con la oferta hídrica disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales.

El IUA, establece la relación porcentual de la demanda de agua en relación a la oferta disponible, a través de la siguiente ecuación:

$$IUA=(Dh/Oh)*100$$

Dónde:

Dh: Demanda hídrica sectorial

Oh: Oferta superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental).

La Demanda Hídrica (Dh), que es la sumatoria del agua extraída para usos sectoriales, en un periodo de tiempo determinado, se establece a través de la siguiente expresión:

$$Dh=Ch+Csp+Csm+Css+Cea+Ce+Ca+Aenc$$

Donde;

Dh : demanda hídrica

Ch : consumo humano o doméstico

Csp : Consumo sector agrícola

Csm : consumo sector industrial

Css : consumo sector de servicios

Ce : consumo sector de energía

Ca : consumo del sector acuícola

$Aenc$: extraída no consumida

El cálculo oferta hídrica natural disponible (Oh), se realiza para condiciones hidrológicas medias y secas, con base en las series de caudales medios mensuales y anuales; las condiciones secas corresponden al año típico seco, construido a partir de los caudales mínimos de las series de los caudales medios mensuales;

La Tabla 8 presenta los Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua, establecidos por el IDEAM.

Rango IUA (Dh/Oh)*100	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.
20.01-50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
10.01-20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
01-oct	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible.
<1	Muy bajo	La presión de la demanda es no significativa con respecto a la oferta disponible.

Tabla 8. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua

(Fuente Pomca Río Gualí – 2014)

En la Tabla 9, se presentan los resultados del cálculo del índice de uso del agua para las subcuencas que conforman del río Gualí para condiciones hidrológicas secas; según la definición anterior, si el IUA sobrepasa el 20%, deben iniciarse programas de ordenamiento y de conservación de cuencas, a fin de hacer sostenible el recurso hídrico, evitar situaciones que afecten el abastecimiento de agua y prevenir futuras crisis. Bajo esta consideración las cuencas de la Quebrada Padilla, Río Sucio, Quebrada el Guarumo, Quebrada Peñales (Afluente del Río Cajones) deben iniciar programas de ordenamiento y de conservación, para evitar situaciones que afecten el abastecimiento de agua y prevenir futuras crisis.

La Tabla 10, muestra los resultados del índice de uso del agua (IUA) para condición de año hidrológico normal; las estimaciones del IUA se obtuvieron considerando los caudales ambientales por las metodologías Q25, Q97.5 y QIRH. Estas metodologías son referenciadas por el IDEAM (IDEAM, 2010), y desarrolladas por el grupo consultor que llevó a cabo el POMCA GUALÍ.

Es importante mencionar que la estimación de IUA, para condiciones hidrológicas normales o medias, no corresponde a un análisis en condiciones críticas de oferta, como sí lo es el IUA estimado para condiciones hidrológicas secas.

Cuenca hidrográfica		Código	Oh (m ³ /s)	Dh (m ³ /s)	IUA (%)	Categoría
Qda Padilla	Q. Padilla		0.281	0.19632	69.86	Muy alto
	Q. Rabo de Gallo		0.053	0.00864	16.3	Moderado
R. Aguacatal	R. Aguacatal		0.591	2.30E-04	0.04	Muy bajo
	Q. Dantas		0.009	S/I	S/I	Sin Información
	Q. Tasajeras		0.011	S/I	S/I	Sin Información
R. Cajones	R. Cajones		0.504	0.01791	3.55	Bajo
	R. San Luis		0.009	S/I	S/I	Sin Información
	Q. Peñales		0.08	0.0175	21.88	Alto
R. Medina		0.551	4.64E-02	8.42	Bajo	
R. Sucio		0.528	0.217	41.1	Alto	
R. Alto Gualí		2.462	0.077	3.13	Bajo	
R. Bajo Gualí		5.071	0.637	12.56	Moderado	
R. Medio Gualí		2.936	0.083	2.83	Bajo	
Q. Agua de Dios		0.087	6.00E-07	0	Muy bajo	
Q. Campeón		0.077	0.0038	4.94	Bajo	
Q. Chimine		0.214	0.0003	0.14	Muy bajo	
Q. El Guarumo		0.091	0.058	63.74	Muy alto	
Q. Nicua		0.073	0.0001	0.14	Muy bajo	
Q. San José		0.06	0.0001	0.17	Muy bajo	
Q. Morales		0.04	S/I	S/I	Sin Información	
Q. Oromazo		0.029	S/I	S/I	Sin Información	
Q. San Rafael		0.045	S/I	S/I	Sin Información	

Tabla 9. Índice de uso del agua para subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí, año hidrológico seco

Fuente: Adaptada de HTM-GOTTA, (2013) – POMCA GUALÍ -2014

Cuenca hidrográfica		Dh (m3/s)	Estimado con Q ₂₅			Estimado con Q _{97,5}			Estimado con Q _{IRH}		
			Oh (m ³ /s)	IUA (%)	Categoría	Oh (m ³ /s)	IUA (%)	Categoría	Oh (m ³ /s)	IUA (%)	Categoría
Qda Padilla	Q. Padilla	0.1963	0.684	28.7	Alto	0.289	67.93	Muy alto	0.104	188.8	Muy alto
	Q. Rabo de gallo	0.0085	0.147	5.88	Bajo	0.072	12	Moderado	0.03	28.8	Alto
R. Aguacatal	R. Aguacatal	0.0002	3.116	0.01	Muy bajo	2.287	0.01	Muy Bajo	1.613	0.01	Muy bajo
	Q. Dantas	S.I	0.057	S.I	sin Información	0.045	S.I	sin Información	0.031	S.I	sin Información
	Q. Tasajeras	S.I	0.056	S.I	sin Información	0.04	S.I	sin Información	0.025	S.I	sin Información
R. Cajones	R. Cajones	0.0179	24	0.75	Muy bajo	1.693	1.06	Bajo	1.178	1.52	Bajo
	R. San Luis	S.I	0.042	S.I	sin Información	0.03	S.I	sin Información	0.02	S.I	sin Información
	Q. Peñales	0.0175	0.409	4.28	Bajo	0.297	5.89	Bajo	0.197	8.88	Bajo
R. Medina		0.0464	5.97	0.78	Muy bajo	5.197	0.89	Muy bajo	4.106	1.13	Bajo
R. Sucio		0.217	5.299	4.1	Bajo	4.558	4.76	Bajo	3.569	6.08	Bajo
R. Alto Gualí		0.077	12.59	0.61	Muy bajo	8.93	0.86	Muy bajo	6.115	1.26	Bajo
R. Bajo Gualí		0.637	30.065	2.12	Bajo	22.983	2.77	Bajo	17.179	3.71	Bajo
R. Medio Gualí		0.063	16.014	0.52	Muy bajo	11.91	0.7	Muy bajo	8.578	0.97	Muy bajo
Q. Agua de Dios		6.00E-07	0.622	0	Muy bajo	0.499	0	Muy bajo	0.371	0	Muy bajo
Q. Campeón		0.0038	0.599	0.63	Muy bajo	0.491	0.77	Muy bajo	0.384	0.99	Muy bajo
Q. Chimine		0.003	0.975	0.03	Muy bajo	0.574	0.04	Muy bajo	0.425	0.07	Muy bajo
Q. El Guarumo		0.058	0.674	8.61	Bajo	0.546	10.62	Moderado	0.409	14.18	Moderado
Q. Nicua		0.0001	0.695	0.01	Muy bajo	0.593	0.02	Muy bajo	0.495	0.02	Muy bajo
Q. San José		0.0001	0.447	0.02	Muy bajo	0.363	0.03	Muy bajo	0.277	0.04	Muy bajo
Q. Morales		S.I	0.174	S.I	sin Información	0.117	S.I	sin Información	0.05	S.I	sin Información
Q. Oromazo		S.I	0.253	S.I	sin Información	0.212	S.I	sin Información	0.173	S.I	sin Información
Q. San Rafael		S.I	0.342	S.I	sin Información	0.278	S.I	sin Información	0.212	S.I	sin Información

Tabla 10. Índice de uso del agua (IUA) para cuencas y subcuencas río Gualí para año hidrológico Normal o medio.

(Adaptada de HTM-GOTTA, (2013) -FUENTE POMCA Río Gualí - 2014)

Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH)

Para el IDEAM (IDEAM, 2010), el Índice de Vulnerabilidad Hídrica por Desabastecimiento (IVH), se define como el “grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante

amenazas (Como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno Cálido del Pacífico –Niño) podría generar riesgos de desabastecimiento”.

El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos de índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA), en las categorías que se muestran en la Tabla 11

Índice de Uso del Agua (IUA)	Índice de Regulación Hídrica (IRH)	Categoría Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: IDEAM (2010)

Tabla 11. Matriz de relación para categorizar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).

(FUENTE POMCA GUALI-2014)

Acorde a las consideraciones anteriores, se genera el Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico, para las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí, como se muestra en la Tabla 12 para condiciones de año seco.

En la

Tabla 13, se presenta el índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) en las y subcuencas que conforman el río Gualí, para la condición de año hidrológico, normal; destacándose el IVH en la quebrada Padilla según la estimación por las tres metodologías de caudal ambiental. La quebrada Rabo de Gallo (Afluente de la Quebrada Padilla), presenta IVH alto para la estimación con el caudal ambiental (QIRH). Las quebradas Chimine y Guarumo, presentan IVH moderado, se destaca que el IVH, que representa una condición climática crítica para abastecimiento, es la relacionada con año hidrológico seco, como se muestra en la Tabla 12.

Cuenca hidrográfica	Código	IUA (%)	Categoría	IRH	Descripción	IVH
Qda Padilla	Q. Padilla	69.95	Muy alto	0.66	Moderada	Alto
	Q. Rabo de Gallo	16.32	Moderado	0.65	Moderada	Medio
R. Aguacatal	R. Aguacatal	0.04	Muy bajo	0.77	Alta	Muy bajo
	Q. Dantas	Sin Informacion	0.75	Alta	Sin informacion	Sin Informacion
	Q. Tasajeras	Sin Informacion	Sin Informacion	0.77	Alta	Sin Informacion
R. Cajones	R Cajones	3.56	Bajo	0.77	Alta	Bajo
	R. San Luis	Sin Informacion	Sin Informacion	0.77	Alta	Sin Informacion
	Q. Peñales	22.02	Alto	0.76	Alta	Medio
R. Medina		8.41	Bajo	0.68	Moderada	Bajo
R. Sucio		41.07	Alto	0.69	Moderada	Alto
R. Alto Gualí		3.25	Bajo	0.76	Alta	Bajo
R. Bajo Gualí		12.56	Moderado	0.73	Moderada	Medio
R. Medio Gualí		2.83	Bajo	0.75	Alta	Bajo
Q. Agua de Dios		1.16E-04	Muy bajo	0.74	Moderada	Bajo
Q. Campeón		5	Bajo	0.72	Moderada	Bajo
Q. Chimine		0.15	Muy bajo	0.62	Baja	Medio
Q. El Guarumo		63.81	Muy alto	0.74	Moderada	Alto
Q. Nicua		0.09	Muy bajo	0.72	Moderada	Bajo
Q. San José		0.11	Muy bajo	0.73	Moderada	Bajo
Q. Morales		Sin Informacion	Sin Informacion	0.64	Baja	Sin Informacion
Q. Oromazo		Sin Informacion	Sin Informacion	0.72	Moderada	Sin Informacion
Q. San Rafael		Sin Informacion	Sin Informacion	0.73	Moderada	Sin Informacion

Fuente: HTM-GOTTA, (2013)

Tabla 12. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico (IVH), para la condición de año hidrológico seco, en las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí.

(FUENTE POMCA GUALÍ-2014)

Cuenca hidrográfica	IRH	Calificación	Estimado con Q25			Estimado con Q47.5			Estimado con Q75			
			IUA (%)	Categoría	IVH	IUA (%)	Categoría	IVH	IUA (%)	Categoría	IVH	
Qda Padilla	Q. Padilla	0.66	Moderado	26.7	Alto	Alto	67.93	Muy alto	Alto	188.77	Muy alto	Alto
	Q. Rabo de Gallo	0.65	Moderado	5.88	Bajo	Bajo	12	Moderado	Medio	28.8	Alto	Alto
R. Aguacatal	R. Aguacatal	0.77	Alto	0.01	Muy bajo	Muy bajo	0.01	Muy bajo	Muy bajo	0.01	Muy bajo	Muy bajo
	Q. Dantas	0.75	Alto	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
	Q. Tasajeras	0.77	Alto	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
R. Cajones	R. Cajones	0.77	Alto	0.75	Muy bajo	Muy bajo	1.06	Bajo	Bajo	1.52	Bajo	Bajo
	R. San Luis	0.77	Alto	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
	Q. Peñales	0.75	Alto	4.28	Bajo	Bajo	5.09	Bajo	Bajo	8.88	Bajo	Bajo
R. Medina	0.68	Moderado	0.78	Muy bajo	Bajo	0.89	Muy bajo	Bajo	1.13	Bajo	Bajo	
R. Sucio	0.69	Moderado	4.1	Bajo	Bajo	4.76	Bajo	Bajo	6.08	Bajo	Bajo	
R. Alto Gualí	0.75	Alto	0.61	Muy bajo	Muy bajo	0.86	Muy bajo	Muy bajo	1.26	Bajo	Bajo	
R. Bajo Gualí	0.73	Moderado	2.12	Bajo	Bajo	2.77	Bajo	Bajo	3.71	Bajo	Bajo	
R. Medio Gualí	0.75	Alto	0.52	Muy bajo	Muy bajo	0.7	Muy bajo	Muy bajo	0.97	Muy bajo	Muy bajo	
Q. Agua de Dios	7.41E-01	Moderado	0	Muy bajo	Bajo	0	Muy bajo	Bajo	0	Muy bajo	Bajo	
Q. Campeón	0.72	Moderado	0.63	Muy bajo	Bajo	0.77	Muy bajo	Bajo	0.99	Muy bajo	Bajo	
Q. Chimine	0.62	Bajo	0.03	Muy bajo	Medio	0.04	Muy bajo	Medio	0.07	Muy bajo	Medio	
Q. El Guarumo	0.74	Moderado	8.61	Bajo	Bajo	10.52	Moderado	Medio	14.18	Moderado	Medio	
Q. Nicua	0.72	Moderado	0.01	Muy bajo	Bajo	0.02	Muy bajo	Bajo	0.02	Muy bajo	Bajo	
Q. San José	0.73	Moderado	0.02	Muy bajo	Bajo	0.03	Muy bajo	Bajo	0.04	Muy bajo	Bajo	
Q. Morales	0.64	Bajo	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	
Q. Oromazo	0.72	Moderado	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	
Q. San Rafael	0.73	Moderado	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	

Fuente: HTM-GOTTA. (2013)

Tabla 13. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico (IVH), para la condición de año hidrológico normal, en las subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del río Gualí.

(FUENTE POMCA GUALÍ-2014)

CORTOLIMA, al igual que para el Río Gualí, cuenta con Planes de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas (POMCA) de los Ríos Azufrado y Lagunilla, los cuales son intervenidos antrópicamente por varios municipios, entre ellos el municipio de CASABIANCA. Dicho documento de ordenación fue adoptado por la comisión conjunta conformada por la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA” y la Dirección Territorial Noroccidente de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mediante los acuerdos 001 del 06 de agosto de

2010, para las Cuenca Hidrográfica mayor del Río Lagunilla (CORTOLIMA, 2010a) y la Cuenca Mayor del Río Recio (CORTOLIMA, 2010b).

Según el Plan de Ordenación de la Cuenca del Río Lagunilla (CORTOLIMA, 2009a) en el capítulo 2 denominado “*Descripción del Estado Actual de la Cuenca*” se identifica que para el año 2009, expresa lo siguiente:

“En los municipios con un bajo nivel de cubrimiento de la del servicio de alcantarillado sé tiene en cuenta Casabianca con un cubrimiento del 50.2% de la población, en el municipio de Villahermosa tiene una cobertura muy baja, pues solo alcanza el 26.2 % y Murillo no cuenta con un sistema de alcantarillado.

En Casabianca la cobertura del servicio de alcantarillado solo alcanza el 50.2% de la población, lo que genera de manera permanente unos altos niveles de contaminación hídrica. De ahí la proliferación de moscas que generan problemas epidemiológicos”

Más adelante se analizará a afondo la situación de cada uno de los municipios, actualizada al año 2015.

Lo que respecta a lo referido por el Plan de Ordenación de la Cuenca del Río Recio (CORTOLIMA, 2009b), no se referencian fuentes hídricas que sean afectadas por los municipios en estudio, sin embargo se referencia la Tabla 14 con la calidad de los cuerpos de agua analizados en este POMCA.

Este índice es calculado de acuerdo a lo establecido por la norma técnica de calidad de agua potable, bajo el decreto N° 475 del año 1998

No.	ALTURA	ESTACIÓN	VEREDA	MUNICIPIO	WQI	CALIDAD	COLOR
1	2577	RLY	El Bosque	Murillo-Sta. Isabel	44	Mala	
3	-----	QSAB	El Bosque	Murillo	81	Buena	
2	2571	QRM	El Bosque	Murillo	68	Regular	
4	1781	QASR	-----	Sta. Isabel	86	Buena	
5	1781	QASI	San Rafael	Sta. Isabel	81	Buena	
6	596	QS	La Sierrita	Venadillo	70	Regular	
7	380	RRV-L	-----	Venadillo-Lérida	46	Mala	
8	240	DRR	La Quinta	Ambalema	53	Regular	
9	-----	AAM	-----	-----	62	Regular	

Tabla 14. Resultados Índice de Calidad del Agua (ICA) para la cuenca del río Recio.

(FUENTE POMCA RIO RECIO- CORTOLIMA-2009)

Aun no se tiene adoptado el POMCA del Río Sabandija, el cual es receptor de los vertimientos de la cabecera municipal, por medio del Río Cuamo, del municipio de FALAN.

2 MUNICIPIOS SELECCIONADOS PARA ESTUDIO.

Para los municipios que se realizará el estudio de caso en la cuenca alta del Río Gualí, tales como Herveo, Casabianca, Palocabildo, Fresno y Falan, se ha identificado cartográficamente que los vertimientos que se generan por las aguas residuales domésticas, provenientes de los cascos urbanos, vierten sobre fuentes hídricas aledañas a estos, las cuales finalmente tributan sobre las cuencas mayores de los Ríos Gualí, Río Sabandija y Río Azufrado. Aunado a lo anterior, los municipios en estudio cuentan con el 67% aproximadamente del área incluida en la cuenca del Río Gualí.

Como se mencionó en el párrafo anterior, estos municipios vierten sus aguas sin tratamiento previo sobre las fuentes de agua aledañas al casco urbano, algunas de las cuales son tributarias directas del Río Gualí, sin que se cuente con sistemas de tratamiento para sus aguas residuales domésticas. Para el municipio de Casabianca, se cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas, sin embargo según información que se detalla más adelante, se encuentra fuera de funcionamiento (By Pass), sin que se traten dichas aguas antes de su vertimiento final.

Estos municipios presentan un incremento significativo en cuanto al porcentaje de producción agrícola medido en la década de entre los años 2000 y 2010, según lo que muestra la gobernación del Tolima en su página oficial www.tolima.gov.co. Solamente el municipio de Herveo presentó un decrecimiento del 1.20% en este periodo de tiempo, no obstante mostró una dinámica fuerte en el sector ganadero, manteniendo en promedio 9998 cabezas de ganado anuales, lo que define a este municipio como productor cárnico y lácteo por encima del sector agrícola.

A continuación se resume el incremento presentado por los municipios para esta década comprendida entre los años 2000 y 2010.

Proyección Agrícola y Ganadera - Década 2000 - 2010		
Municipio	Sector Agrícola (Incremento de producción)	Sector Ganadero (Cabezas promedio anual)
Herveo	-1.20 %	9998
Casabianca	0.13%	4386
Palocabildo	80.25%	1783
Falan	1153%	5704
Fresno	175.5%	7701

Tabla 15. Proyección agrícola y ganadera – Municipios en estudio

Este factor de incremento productivo dentro de los municipios lo cual conlleva a la migración de personas hacia la cabecera municipal debido a la comercialización de los bienes cultivados, el incremento de población flotante acorde al mismo fenómeno, y sumado al vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento previo sobre las fuentes hídricas que vierten finalmente sobre las cuencas de los Ríos Gualí, Sabandija y Azufrado, y el área que se incluye en la

cuenca por parte de estos municipios, ponen de manifiesto la necesidad de un diagnóstico actualizado del saneamiento de aguas residuales, así como la proyección de soluciones para el tratamiento de las mismas, acorde a la exigencia de la normatividad vigente.

2.1 Criterios de selección.

En el capítulo anterior se puede observar que la mayor parte de las estaciones que fueron analizadas en el POMCA GUALÍ, presentan calidad Regular o Aceptable, tanto en la metodología estimada por este documento como por la que se calcula por medio de la metodología del IDEAM.

Por medio de la metodología que utilizó el POMCA, solamente se presenta una estación con calidad Buena (Estación 10), la cual corresponde al Río Medina antes de la desembocadura sobre el Río Gualí. De igual forma la Estación E1 reporta calidad Mala, encontrándose a la altura de la quebrada la Ciega, antes del casco urbano de Herveo, indicando que desde la parte alta de la cuenca del Río Gualí se presenta contaminación, lo que disminuye ostensiblemente la calidad fisicoquímica de esta corriente.

De otro lado mediante la metodología descrita por el IDEAM, el menor valor ponderado corresponde a la estación E4 correspondiente a la cuenca alta del Río Gualí – Aguas arriba del municipio de Herveo (Calidad Regular), lo que coincide con lo descrito en la otra metodología, reflejando contaminación fisicoquímica desde la parte alta de la cuenca.

Por otro lado, es clara la situación que sufren varias de las subcuencas pertenecientes a la gran cuenca del Gualí, las cuales reportan índices de Riesgo Alto y Muy Alto, como lo son los de Índice de Uso del Agua (IUA) y el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IVH). Este caso en particular es el que se reporta para la subcuenca de la Quebrada Guarumo y la Quebrada Padilla, las cuales surten los municipios de Fresno y Honda en el departamento del Tolima y se ubican en la parte media y baja de la Cuenca del Gualí.

Además de lo anterior, se consideran los objetivos de calidad que se establecieron por parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, los cuales se definieron a lo largo de la corriente principal del Río Gualí, detallando valores para la DBO, SST, Grasas y Aceites, Coliformes Fecales y Totales. Estos valores se analizan a la luz del cumplimiento de la Resolución 601 del 09 de junio de 2006, establecida por CORTOLIMA

Según la **Resolución N° 601 del 09 de junio de 2006** (CORTOLIMA, 2006) proferida por CORTOLIMA, y teniendo en cuenta el documento de la línea base para el establecimiento de metas de reducción de carga contaminantes para los municipios del Tolima (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA, 2016), en su anexo 2, se realiza un análisis sobre el cumplimiento de estos objetivos de calidad para el Río Gualí, los cuales muestran un panorama

a lo largo del trayecto de este río, así como el cumplimiento de los límites establecidos por la Resolución, desde el nacimiento en jurisdicción del municipio de Herveo, hasta su desembocadura en el municipio de Honda sobre el Río Magdalena.

A continuación se muestra el resumen sobre el cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por la Resolución 601 de 2006 para el Río Gualí, además del análisis del cumplimiento para los parámetros de SST Y DBO₅ para los años 2014 y 2015. La Tabla 16 muestra el análisis sobre el cumplimiento de los objetivos de calidad para el Río Gualí.

CUENCA MAYOR	CUENCA	MUNICIPIO	TRAMO	AÑO	O.D	DBO ₅	S.S.T	Grasas y Aceites	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Conductividad Eléctrica
GUALÍ	GUALÍ	HERVEO FRESNO	Nacimiento - Casco Urbano Fresno T-1	2010				NR			NO REQUIERE
				2011				NR			
				2012				NR			
				2013	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
				2014				NR			
				2015				NR			
GUALÍ	GUALI	FRESNO-MARIQUITA	Casco urbano Fresno-Casco Urbano Mariquita T-2	2010				NR			NO REQUIERE
				2011				NR			
				2012				NR			
				2013	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
				2014				NR			
				2015				NR			
GUALÍ	GUALI	MARIQUITA-HONDA	Casco Urbano Mariquita-Casco Urbano Honda (Pte Negro) T-3	2010				NR			NO REQUIERE
				2011				NR			
				2012				NR			
				2013	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
				2014				NR			
				2015				NR			
GUALÍ	GUALI	HONDA	Casco Urbano Honda (Pte Negro)-Desemb. Río Magdalena T-4	2010				NR			NO REQUIERE
				2011				NR			
				2012				NR			
				2013	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
				2014				NR			
				2015				NR			
CONVENCIONES											
					NO CUMPLE						
					CUMPLE						
NR					NO REPORTA						
Para este tramo no se requiere el parámetro.					NO REQUIERE						

Tabla 16. Resumen del cumplimiento de Objetivos de calidad para la cuenca Gualí en el periodo de 2010 a 2015.

(FUENTE CORTOLIMA-2015.)

Para el parámetro de DBO₅ de la cuenca Gualí se observa un incumplimiento únicamente para el año 2011 en el tramo 2 y para el 2015 en el tramo 1, en el año 2013 no hay registro del parámetro analizado; el resto de años y tramos se encuentran en cumplimiento.

Para el parámetro de SST se encontró que se incumple en todos los tramos durante los 5 años de muestreo a excepción del año 2013 donde no se encontró reporte del parámetro analizado.

La Tabla 17 y la Tabla 18, muestra la comparación que se llevó a cabo para los parámetros de DBO y SST en los años 2014 y 2015.

La Figura 10 y Figura 11 muestran el comportamiento de los parámetros de DBO y SST para la cuenca del río Gualí, en los años 2014 y 2015.

DBO₅ GUALI							
CUENCA MAYOR	CUENCA	MPIO	TRAMO	VALOR DE CUMPLIMIENTO	2013	2014	2015
GUALÍ	GUALÍ	HERVEO-FRESMO	Nacimiento Casco Urbano Fresno T-1	< 2.0		2	3,10
GUALÍ	GUALI	FRESNO-MARIQUITA	Casco urbano Fresno Casco Urbano Mariquita T-2	< 4.0		2	2
GUALÍ	GUALI	MARIQUITA-HONDA	Casco Urbano Mariquita- Casco Urbano Honda (Pte Negro)T-3	< 20.0		2	2
GUALÍ	GUALI	HONDA	Casco Urbano Honda (Pte Negro)-Desemb. Río Magdalena T-4	< 50.0		2	2

Tabla 17. Resumen de resultados de DBO5 reportados por el Laboratorio de CORCUENCAS para un periodo de 2013 a 2015 de la cuenca Gualí.

(Fuente Cortolima – 2015)

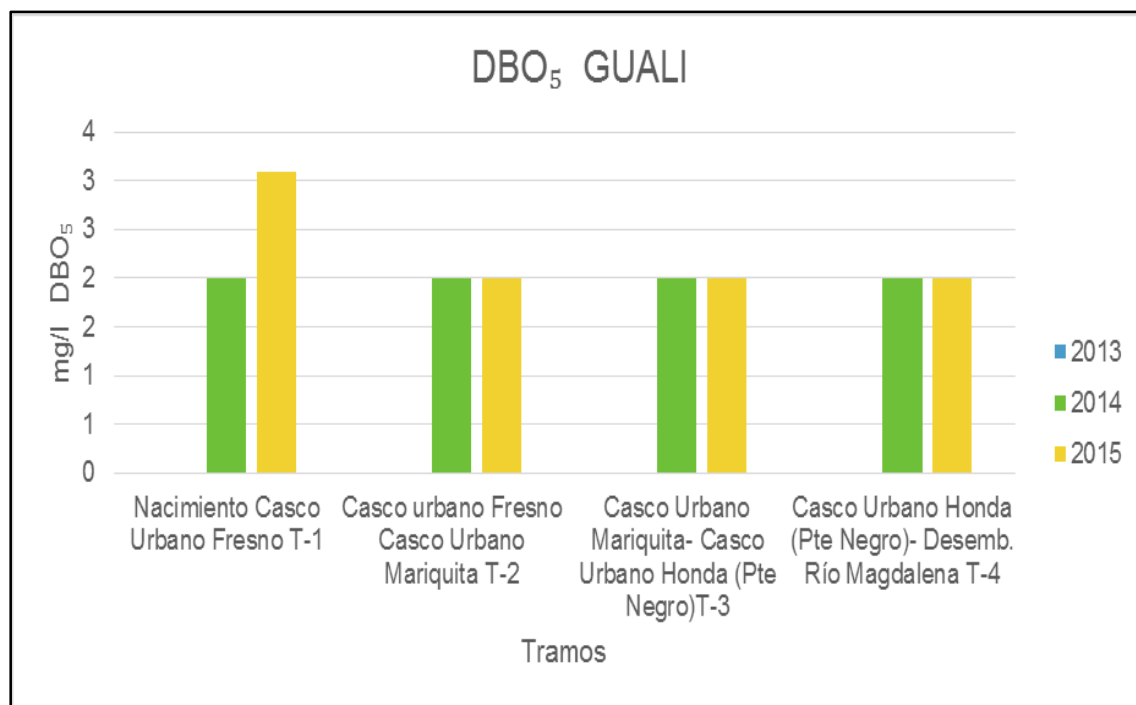


Figura 10. Comportamiento de DBO₅. en la cuenca Gualí.
(Fuente Cortolima – 2015)

Lo que respecta a la DBO₅, reportada para los tramos que abarca el Río Gualí, desde su nacimiento hasta la desembocadura sobre el Río Magdalena, se puede observar que se muestran valores bajos (< 4 mg/L), lo que indica que esta fuente hídrica presenta una calidad buena en cuanto a contaminación por materia orgánica. En el análisis que se realiza no se cuenta con datos para el año 2013, pero para los años 2014 y 2015 cumple con los objetivos de calidad establecidos.

S.S.T. GUALI							
CUENCA MAYOR	CUENCA	MPIO	TRAMO	VALOR DE CUMPLIMIENTO	2013	2014	2015
GUALÍ	GUALÍ	HERVEO-FRESMO	Nacimiento Casco Urbano Fresno T-1	< 10		92	327,00
GUALÍ	GUALI	FRESNO-MARIQUITA	Casco urbano Fresno Casco Urbano Mariquita T-2	< 10		461	322,00
GUALÍ	GUALI	MARIQUITA-HONDA	Casco Urbano Mariquita- Casco Urbano Honda (Pte Negro)T-3	< 50.0		1294	168,00
GUALÍ	GUALI	HONDA	Casco Urbano Honda (Pte Negro)- Desemb. Río Magdalena T-4	< 20.0		1147	161,00

Tabla 18. Resumen de resultados de S.S.T. reportados por el Laboratorio de CORCUENCAS para un periodo de 2013 a 2015 para la cuenca Gualí.
(Fuente Cortolima – 2015)

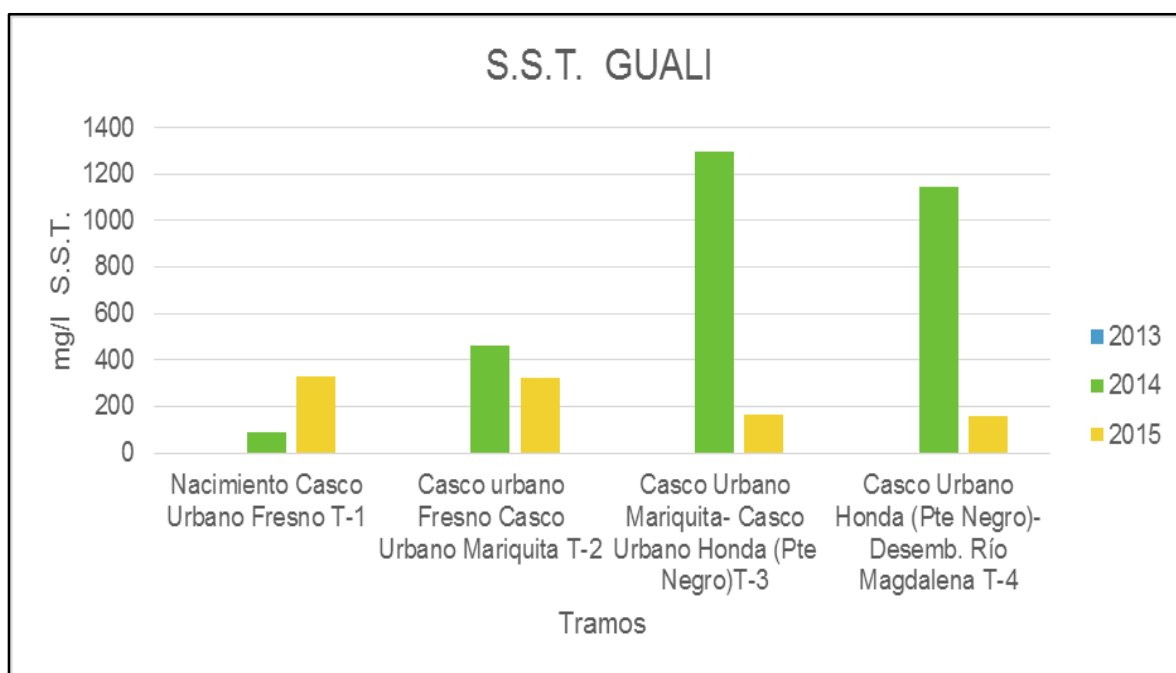


Figura 11. Comportamiento de S.S.T. en la cuenca Gualí.
(Fuente Cortolima – 2015)

En lo que respecta a los SST para la cuenca del Gualí, se observa que en los tramos que corresponden a los municipios ubicados en la parte más baja del recorrido de este Río (Mariquita y Honda) se reporta un aumento importante para los datos que se encontraron en el año 2014, así mismo aunque en menor proporción para el tramo que está ubicado entre el casco urbano del municipio de Fresno y el municipio de Mariquita.

Para el año 2015 presenta valores por encima de los estimados en los objetivos de calidad, desde el tramo 1 hasta el tramo 4, lo que muestra un arrastre de sólidos en el transcurrir de la cuenca, sumado al aporte que se realiza a la altura del municipio de Mariquita por algunos ríos intervenidos por minería y extracción de material. En el análisis no se indica el tiempo en que se realizó la toma de muestras, si obedece a época de invierno o de verano, por lo que no se puede analizar si el aumento de sólidos corresponde a estos fenómenos o están relacionados con intervenciones antrópicas en la zona.

No obstante lo anterior, no se determina si el tiempo en que fueron tomadas las muestras corresponde a épocas de lluvia o tiempo seco, lo que puede cambiar ostensiblemente los resultados y análisis de estos. Por tal motivo estos valores no analizan el fenómeno multitemporal, asociado a la calidad de la corriente hídrica, la cual se ve en gran parte modificada por arrastre de material en épocas de lluvia, y por ende el valor de SST.

Sumado al análisis realizado a los SST y la DBO₅, se observa que para el parámetro de Coliformes Totales y Fecales, se incumple en varios de los tramos estudiados, especialmente sobre el tramo 4, antes de la desembocadura sobre el Río Magdalena. Estos resultados que muestran la presencia de Coliformes Fecales, indican la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo sobre el recurso hídrico.

De lo anterior se puede observar que en la cuenca alta del Río Gualí, para varios de los años analizados (2014 y 2015), no se cumplen con los objetivos de calidad en cuanto a los parámetros de SST y Coliformes Fecales.

2.2 Generalidades de los municipios seleccionados.

A continuación veremos la descripción de los municipios que se estudian para la cuenca alta del Río Gualí, mostrando generalidades de cada uno, la información sobre el estado actual en cuanto a puntos de vertimientos, alcantarillados y sistemas de tratamiento y las caracterizaciones de los residuos líquidos.

2.2.1 MUNICIPIO DE HERVEO

Según el documento resumen del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) el municipio de Herveo (ALCALDIA MUNICIPAL DE HERVEO, 2005) está constituido por la cabecera municipal y tres centros poblados en la parte rural, los cuales son Padua, Letras y El Brasil, además de una inspección ubicada en Padua y treinta y dos veredas (32), para un área de 32228.40 hectáreas (Has) en total.

Según lo expuesto por el EOT, el municipio cuenta con seis provincias climáticas como se muestran a continuación

- Páramo Alto Súper Húmedo (PASH): Localizado en la parte Suroeste, con una extensión de 7380 Has, que corresponden al 22.89%. Abarca una altitud entre 3400 y 4450 m.s.n.m con una precipitación promedio anual de entre 1400 y 2200 mm y temperaturas que van desde 0° a 7° Celcius.
- Páramo Bajo Superhúmedo (PBSh): se encuentra en tres sectores, los cuales son el oeste que limita con el departamento de Caldas, El Centro y Suroeste, con una extensión de 6551 Has (20.3% del Municipio). Se encuentra entre 2700 y 3400 m.s.n.m con una precipitación promedio anual entre 2400 y 1600 mm, y temperaturas que varían entre los 7° y 12° Celcius.
- Páramo Bajo Húmedo (PBH): se presenta en el Sudeste del Municipio, en los límites de Casabianca. Presenta una extensión de 432.40 Has (1.3% del Municipio). se localiza entre 2.700 a 3.000 m.s.n.m., y presenta una

precipitación promedio anual entre 1.700 mm y 1.900 mm, con una temperatura que oscila entre 10° C y 12° Celcius.

- Frío Húmedo (FH): se presenta en el Sudeste del Municipio, en los límites de Casabianca, con un área de 12.413 Has (38.5% del Municipio), cubriendo de esta manera la mayor parte del área, con alturas entre 2.700 a 3.000 m.s.n.m., una precipitación promedio anual entre 1.800 mm a 2.700 mm y una temperatura que oscila entre 12° y 18° Celsius.
- Templado Húmedo (TH): está localizada en tres sectores del Municipio (Noreste) con una extensión de 2.492 Has (7.73% del Municipio) con alturas que van desde los 1.550 a los 1.800 m.s.n.m, precipitación promedio anual entre 2.100 mm. a 2.700 mm. y una temperatura que oscila entre 18° a 20° Celcius

En lo que respecta a la parte de hidrología, el EOT del municipio indica que Herveo pertenece a las cuencas hidrológicas del Río Gualí y el Río Guarinó.

En cuanto al servicio de acueducto se muestra en el EOT que la cabecera municipal, así como los centros poblados de Padua, El Brasil, Letras y 18 veredas cuentan con acueducto, sin embargo no se cuenta con Concesión de Aguas para estos, y se está pendiente de legalización ante CORTOLIMA. Cabe aclarar que esta información se refiere al año 2005, en el cual se desarrolló el EOT. En la actualidad y según archivos de CORTOLIMA, se cuenta con dos concesiones para el municipio.

Para el servicio de alcantarillado el EOT describe lo siguiente:

“El sistema de alcantarillado se encuentra en tubería de cemento de 4” de diámetro, en sectores de los Barrios la Punta, Santander, Pastrana, el Tejar y la Plazuela, en tubería en gres de 4” en los Barrios Villanueva, las Palmeras y Guillermo Buriticá. Tubería en cemento de 3” y 1 ½ “de diámetro del barrio San Martín y el marco de la Plaza. Las acometidas hacia las viviendas están en ½ “de diámetro. También se encuentran dos (2) colectores en el barrio las Palmeras, uno (1) en el barrio Villanueva, otro en el barrio Pastrana y otro en el barrio el Tejar, y cajas de aguas negras y lluvias de 24” en los barrios Villanueva y las palmeras, dos (2) cajas de 10” de diámetro en el barrio Guillermo Buriticá y otra caja de 6” que se encuentra en un sector comprendido en el barrio Santander y el sector del centro”

El grupo de metas de descontaminación adscrito a la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, desarrolló una visita el día 24 de agosto de 2015 al municipio de Herveo, para la cual se realizó un trabajo de revisión documental sobre los datos más significativos existentes en la Empresa de Servicios Públicos del municipio (EMPUHERVEO S.A E.S.P), y la identificación de la situación actual en lo que respecta a descoles finales del alcantarillado o puntos de vertimientos y su respectiva georeferenciación, tratamiento de aguas residuales domésticas y aforo de caudales de los vertimientos más representativos.

El informe sobre el municipio de Herveo, se encuentra consignado en el informe de la línea base para el establecimiento de metas de descontaminación, en su anexo 3. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA - CORTOLIMA, 2016)

Se entregó la siguiente información por parte de las empresas públicas:

- El municipio cuenta en la actualidad con 782 usuarios aproximadamente adscritos al servicio de acueducto y alcantarillado.
- Se cuenta con una concesión de aguas otorgada por CORTOLIMA con un caudal de 37 l/s para servicio de acueducto del municipio.
- En cuanto al servicio de alcantarillado el municipio presenta una cobertura del 80% y del 100% en acueducto.
- A la fecha el municipio no cuenta con Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas - PTARD.

Además de esto se identifica que el tipo de alcantarillado que se tiene actualmente para el municipio es de tipo combinado, por lo cual se mezclan las aguas lluvias y aguas residuales domésticas generadas.

Los vertimientos pertenecientes a la Quebrada La Ciega fueron identificados como los más significativos según lo descrito por los operarios de la empresa de servicios públicos, representando alrededor del 60% de aguas vertidas por el municipio.

Los vertimientos identificados así como las coordenadas de cada uno de estos se muestran en la Tabla 19

Vertimiento	Ubicación	Sector	Altura msnm	Fuente receptora	Caudal (l/s)	Estado
1. La Ciega 1.	N 5° 4' 48,2" O 75° 10' 24,7"	Urbano	2269	Q. La Ciega-Río Gualí	1,13	Directo
2. La Ciega 2	N 5° 4' 52,3" O 75° 10' 20,3"	Urbano	2219	Q. La Ciega-Río Gualí	0,88	Directo
3. Antiguo Matadero	N 5° 4' 41,4" O 75° 10' 24,5"	Urbano	2262	Q. La Ciega-Río Gualí		Directo
4. Vertimiento El Perfume 1	N 5° 4' 42,5" O 75° 10' 40,2"	Urbano	2267	Q. El Perfume-Río Gualí		Directo
5. Vertimiento El Perfume 2	N 5° 4' 39,5" O 75° 10' 58,2"	Rural	2271	Q. El Perfume-Río Gualí		Directo

Tabla 19. Puntos de vertimientos identificados – Municipio de Herveo Tolima. .

(Fuente Cortolima – 2015)

Según la empresa de servicios públicos EMPUHERVEO S.A E.S.P, el caudal aforado corresponde al 60% del total de los vertimientos del municipio.

La Imagen 1 muestra la ubicación espacial de los puntos de vertimientos en el municipio de Herveo Tolima.



Imagen 1. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Herveo Tolima Año 2015
(FUENTE CORTOLIMA -2015)

2.2.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA

Toando como referencia el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Casabianca (ALCALDIA DE CASABIANCA, 2003), este se localiza en la parte noroccidental del departamento, con coordenadas geográficas $05^{\circ} 07' 42''$ y $04^{\circ} 52' 19''$ de Latitud Norte y $75^{\circ} 19' 29''$ y $75^{\circ} 02' 36''$ de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Posee una extensión de 18166.38 hectáreas, divididas en 18143.31 en la parte rural y 23.07 para la zona urbana.

En lo que se refiere al Clima, el EOT define al municipio como montañoso, con una variedad de pisos térmicos y grados de humedad, que van desde Paramo Alto, Súper Húmedo, Páramo Bajo Súper Húmedo, Frío Húmedo, Templado Húmedo y Cálido Semi húmedo. La temperatura en la zona urbana alcanza en promedio los 17 °C, a una altura de 2081 msnm y 2471 mm de precipitación media anual de régimen bimodal.

La hidrografía se define en el EOT de la siguiente manera: *“Casabianca está delimitado hacia el norte y hacia el sur por dos importantes afluentes hídricos los Ríos Azufrado y Guali respectivamente; lo anterior evidencia el potencial hídrico del municipio. Sin embargo, el primero es tributario del Lagunilla lo cual significa que el territorio municipal se circunscribe a la Subcuenca del río Lagunilla, conformada por la totalidad de la Microcuenca del Río Azufrado”*

El documento denominado Plan de Desarrollo – Bases Para un Desarrollo Sostenible del Municipio de Casabianca (ALCALDIA DE CASABIANCA, 2008), presenta el panorama sobre los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado, Aseo, Energía Eléctrica y Gas Natural.

En lo que respecta al servicio de acueducto el municipio de Casabianca se abastece de la Quebrada El Español, desde donde el agua es conducida por gravedad hasta la planta de tratamiento de agua potable. Se indica que para el año que se desarrolló el documento Plan de Desarrollo, estaba en proceso de creación de la oficina de servicios públicos; no obstante en la actualidad ya se cuenta con dicha oficina, como se mencionará más adelante. En cuanto a los acueductos rurales, se indica en este documento, que solamente 12 veredas de las 27 existentes, y el centro poblado San Jerónimo, cuentan con sistema de captación y distribución pero sin tratamiento previo.

El plan de Desarrollo presenta un panorama del servicio de alcantarillado para el año 2008, con una cobertura del 50.2%, y administrado por la oficina de planeación municipal, o que en la actualidad ha cambiado, como se muestra más adelante. En cuanto a los alcantarillados rurales, se indica que no poseen ningún tipo de alcantarillado, vertiendo directamente sobre el terreno o fuentes hídricas.

El grupo de metas de descontaminación adscrito a la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, desarrolló una visita el día 21 de julio de 2015 al municipio de Casabianca, para lo cual se realizó un trabajo de revisión documental sobre los datos más significativos existentes en la Empresa de Servicios Públicos del municipio (SERVICASABIANCA E.S.P) y la identificación de la situación actual en lo que respecta a descoles finales del alcantarillado o puntos de vertimientos y su respectiva georefenciación, tratamiento de aguas residuales domésticas y aforo de caudales de los vertimientos más representativos.

El informe sobre el municipio de Casabianca, se encuentra consignado en el informe de la línea base para el establecimiento de metas de descontaminación, en su anexo 3. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA - CORTOLIMA, 2016)

A continuación se muestra la información entregada por la Empresa de Servicios Públicos de Casabianca SERVICASABIANCA E.S.P:

- El municipio cuenta en la actualidad con Planta De Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR, la cual se encuentra en By Pass (Fuera de Operación)
- El municipio cuentan con 613 usuarios adscritos del casco urbano del servicio de Acueducto y Alcantarillado.
- Se indica por parte de la empresa que se cuenta con una concesión de agua la cual capta de la Quebrada La Negra o La Española, para la cual se otorgó por parte de Cortolima un caudal de 17,25 l/s; del cual se tratan aproximadamente 6 l/s para consumo humano del casco Urbano del municipio de Casabianca.

Sumado a esto, el informe de la visita al municipio de Casabianca muestra que se informa por parte del personal que labora en las empresas públicas que el alcantarillado es de tipo combinado, por lo tanto se vierten conjuntamente las aguas lluvias con las aguas residuales domésticas generadas.

Se identificó por parte del grupo de metas de descontaminación, que el vertimientos más representativo corresponde al denominado PTAR 2, ubicado en el sitio donde se está construyendo el segundo sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio, con un caudal de 1.71 L/s y una cobertura del 70% del municipio, según lo expresa el personal de encargado de las empresas Publicas.

La Tabla 20 muestra los vertimientos identificados en el municipio de Casabianca y las coordenadas correspondientes a estos, así como el caudal estimado del más representativo y las fuentes receptoras.

Vertimiento	Ubicación	Sector	Caudal medio (l/s)	Altura (msnm)	Fuente receptora	Estado
1. PTAR 1 (By Pass)	N 5° 4' 45,2" O 75° 6' 58,9"	Urbano		2009	Q Calzada y ésta a la Q Santa Rita.	Directo
2. Barrio Divino Niño	N 5° 4' 31,82" O 75° 7' 21,21"	Urbano		2009	Quebrada Santa Rita	Directo
3. Salida Palocabido	N 5° 4' 54,22" O 75° 7' 10,84"	Urbano		2023	Quebrada Cajita y después al Río Gualí.	Directo

4. Sector PTAR 2 (en construcción)	N 5° 4'34,21" O 75° 7'19,74"	Urbano	1,71	2018	Quebrada santa Rita.	Directo
------------------------------------	---------------------------------	--------	------	------	----------------------	---------

Tabla 20. Puntos de Vertimientos identificados – Municipio de Casabianca Tolima. (Fuente Cortolima – 2015)

En la Imagen 2 se muestran los puntos de vertimientos encontrados en el municipio de Casabianca y su ubicación espacial.



Imagen 2. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Casabianca Tolima Año 2015 (FUENTE CORTOLIMA - 2015)

2.2.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO

Según lo descrito en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), acogido por el acuerdo 001 del 28 de febrero de 2005 (ALCALDIA DE PALOCABILDO, 2005), el municipio de Palocabildo está localizado al norte del departamento del Tolima, limitando al Este y al Sur con el municipio de Falan, al Oeste con el municipio de Casabianca y al norte con el municipio de Fresno. Cuenta con un área de 6400 Hectáreas (Has) en total, clasificadas en 36.54 Has en la parte Urbana (0.57% del área total) y 6363.46 Has rurales, lo que pone de manifiesto un municipio netamente agrícola.

En cuanto a lo relacionado con los servicios públicos, se plantea en el EOT la implementación de la oficina de servicios públicos, así como el mantenimiento de la planta de potabilización y la ejecución del plan maestro de acueducto.

Para el servicio de alcantarillado, se plantea a corto plazo la elaboración de un plan maestro de alcantarillado, la conexión de los usuarios que se encuentran fuera de este sistema y mantenimiento de la red de alcantarillado existente. Para mediano y largo plazo, se plantea por medio del EOT el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados mediante el plan maestro de alcantarillado, y la realización de talleres de educación ambiental para el manejo de residuos líquidos.

La agenda ambiental del municipio de Palocabildo (CORTOLIMA, 2009) muestra que el municipio presenta valores de temperatura que oscilan entre los 15° y 23 ° Celcius, con precipitaciones anuales que varían entre los 2000 mm a 3000 mm. La cabecera municipal mantiene en promedio una temperatura de 20 ° Celsius.

Se describen cuatro unidades climáticas, las cuales se muestran a continuación:

- **Cálido Húmedo (Ch):** Se encuentra entre los 750 y 1000 msnm, presentando temperaturas superiores a los 24 °C, con 2200 mm de precipitación anual promedio y una extensión de 123.69 Has (1.93% del municipio).
- **Cálido Semihúmedo (CSh):** Ubicado entre los 750 y 1000 msnm, con temperaturas mayores a los 24 °C. Difiere del Cálido Húmedo por ser menor la precipitación, llegando a los 1200 mm anuales promedio. Presenta una extensión de 127.76 Has (2.0% del total del municipio)
- **Tierras Templadas húmedas (Th):** corresponde al área mayor de producción agrícola, y se ubica entre los 1000 y 2000 msnm, con una precipitación promedio anual de 2200 mm y temperatura que va desde los 17 a los 24 ° Celsius. Corresponde al 52.93% del municipio con una extensión de 3436.15 Has
- **Tierras Templadas Semihúmedas (TSh):** esta presenta características similares a las de las Tierras Templadas Húmedas, ocupando un área de 2.709,64 Has, equivalentes al 42,34 % del total del municipio.

En cuanto a Hidrología, la agenda ambiental muestra que el municipio de Palocabildo hace parte de dos cuencas hidrográficas principales, como lo son las del Río Gualí y Río Sabandija. Además presenta las fuentes abastecedoras del acueducto urbano (Quebradas El Coco y La Sereta) resaltando que para el año 2009 se inicia la operación de un nuevo acueducto que se surtirá de la Quebrada EL Brillante, el cual abastecerá la totalidad del área urbana.

También muestra las veredas que cuentan con acueducto, tal como se muestra en la Tabla 21

Acueducto	Fuente abastecedora	Caudal concesionado L/s
J.A.C .Municipio de Palocabildo	Q. El Brillante	21,990
J.A.C. Vereda La María	Q. El Retiro - Q. Juncal	2,950
J.A.C. Vereda San José	Q. Santa Rita.	0,373
Asousuarios Acueducto Regional	Q. Agua de Dios	19,320
Asousuarios Vereda Alto Bonito	Q. Pompona	0,600
Asociación Comunitaria La Rivera (Vereda El Olimpo).	Rio Sabandija	0,250
Asousuarios Centro Poblado Asturias – Buenos aires	Q. El Reflejo	3,500
Asousuarios Asociación Rural Vereda Pajuil	Q. El Palmar - Zacatín	1,300

Tabla 21. Caudales de acueductos concesionados por CORTOLIMA en el municipio de Palocabildo – Tolima
(Fuente EOT Palocabildo 2005)

En cuanto al servicio de alcantarillado, para el año 2009, la agenda ambiental muestra lo siguiente:

“En el sector urbano se pueden analizar tres frentes los cuales distribuyen sus aguas teniendo en cuenta las condiciones topográficas del municipio. El primer frente en importancia es la zona central del municipio que dispone sus aguas sobre la quebrada El Rompe, dicha red recoge los barrios de Villanueva, Polvorín, Progreso, Jardín, Fátima, La Variante y el Centro; el barrio Protecho y el barrio la Rivera tienen un sistema de alcantarillado independiente pero las aguas servidas caen a la quebrada el Rompe convirtiendo esta fuente en una de las más contaminadas del sector”.

Esta información se pudo corroborar, conforme a que en la actualidad se vierte sin tratamiento previo las aguas residuales generadas en el municipio, como se muestra más adelante.

El grupo de metas de descontaminación adscrito a la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, desarrolló una visita el día 11 de agosto de 2015 al municipio de Palocabildo, para lo cual se realizó un trabajo de revisión documental sobre los datos más significativos existentes en la Empresa de Servicios Públicos del municipio (UNISERPAL E.S.P) y la identificación de la situación actual en lo que respecta a descoles finales del alcantarillado o puntos de vertimientos y su respectiva georreferenciación, tratamiento de aguas

residuales domésticas y aforo de caudales de los vertimientos más representativos.

El informe sobre el municipio de Palocabildo, se encuentra consignado en el informe de la línea base para el establecimiento de metas de descontaminación, en su anexo 3. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA - CORTOLIMA, 2016)

A continuación se muestra la información entregada por la Empresa de Servicios Públicos de Palocabildo UNISERPAL E.S.P:

- El municipio cuenta con 4 puntos de vertimiento a fuentes hídricas sin tener ningún tipo de tratamiento previo.
- Se indica por parte de la empresa que se cuenta con una concesión de agua otorgada por CORTOLIMA: 20 L/Seg de la Quebrada El Brillante, de la cual se captan 15 L/Seg para ser tratados y consumidos en su totalidad por la población del casco urbano; concesión dada mediante la Resolución No. 050 del año 2007.
- Se encontró en los registros de la empresa que cuentan con 788 usuarios inscritos en la actualidad para el servicio de acueducto y 506 usuarios para el servicio de alcantarillado.

Se encontró una totalidad de 4 vertimientos de los cuales se aforaron 2 (Vertimiento Barrio Fátima y Vertimiento Barrio La Rivera), entre los cuales se abarca aproximadamente el 90% y 4% respectivamente, de las aguas residuales vertidas por el municipio de Palocabildo.

La Tabla 22 muestra los vertimientos encontrados y las coordenadas respectivas, así como las fuentes receptoras y los caudales estimados en campo. Cabe aclarar que los aforos que se llevaron a cabo, presentan interferencia por los días de lluvias o precipitaciones presentadas días antes de la toma de los volúmenes de descargas.

VERTIMIENTO	UBICACIÓN	SECTOR	CAUDAL MEDIO (L/S)	Altura - msnm	FUENTE RECEPTORA	ESTADO
1 Vertimiento Barrio Fátima	N 5° 7' 7.0" W 75° 1' 22.3"	Urbano	34.02	1460	Quebrada El Rompe	Directo
2 Vertimiento la Rivera	N 5° 6' 54.2" E 75° 1' 14.1"	Urbano	1.70	1446	Quebrada El Rompe	Directo

3 Pozo séptico Barrio Las Brisas	N 5° 7' 26.7" E 75° 1' 6.7"	Urbano		1464	Campo de infiltración	Directo Suelo
4 Vertimiento Barrio Gualí	N 5° 7' 18.5" E 75° 1' 32.4"	Urbano		1452	Quebrada Chisperos	Directo

Tabla 22. Vertimientos Identificados - Municipio de Palocabildo Tolima Año 2015. (Fuente Cortolima – 2015)

En la Imagen 3 se puede apreciar la ubicación de los puntos de vertimientos del municipio de Palocabildo para el año 2015.

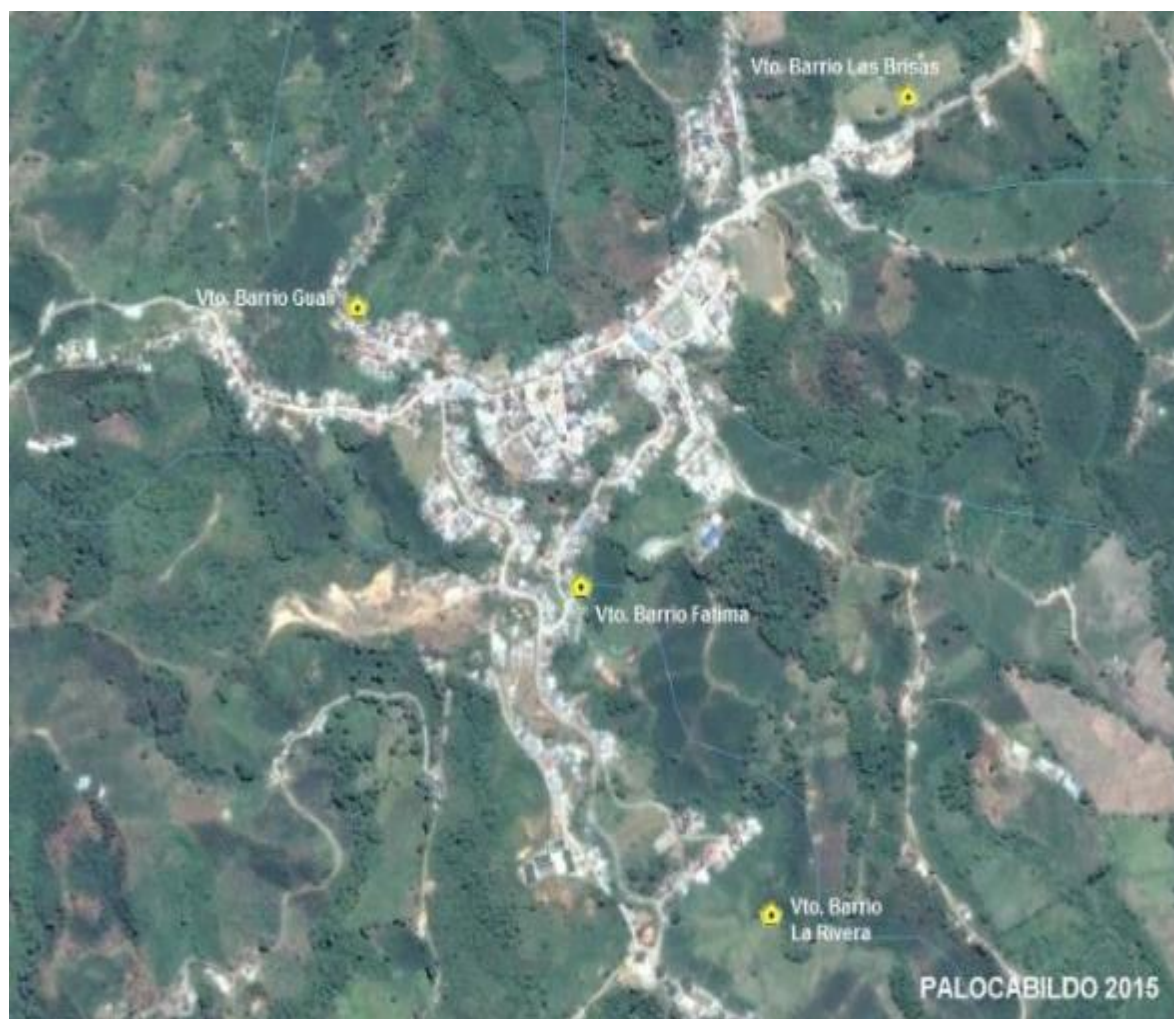


Imagen 3. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Palocabildo Tolima Año 2015
(FUENTE CORTOLIMA- 2015)

2.2.4 MUNICIPIO DE FALAN

Tomando como referencia el documento denominado Agenda Ambiental del Municipio de Falan (CORTOLIMA, 2011), el municipio está ubicado en la zona norte del departamento del Tolima, dentro de las Coordenadas Geográficas 5° 08' de Latitud Norte y 74° 57' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, y en general el Municipio está enmarcado dentro de las coordenadas planas X1=1.065.000 Y1=890.000 y X2=1.045.000 Y2=890.000. Posee una altura promedio de 983 msnm, cambiando de altitud desde los 350 msnm hasta los 1850 msnm.

Está conformado por 17850 Hectáreas (Has), de las cuales solamente el 0.31% corresponde a la zona urbana y el 99.7% a la zona rural. Limita al norte con el municipio de Mariquita, al sur y al oriente con el municipio de Armero Guayabal, al Suroccidente con el municipio de Villahermosa, al occidente con los municipios de Casabianca y Palocabildo y al Noroccidente con el municipio de Fresno.

La precipitación promedio anual es de 2165.9 mm y una precipitación promedio mensual de 180.49 mm, teniendo una régimen de lluvias bimodal, caracterizándose los meses más lluviosos marzo, abril y mayo así como los meses de septiembre, octubre y noviembre. La temperatura que se registra promedio en el municipio es de 25.7° Celsius.

La agenda ambiental del municipio de Falan muestra una clasificación climática, donde se determinan tres (3) unidades o provincias climáticas, como se muestra a continuación:

- Templado Húmedo (TH): corresponde a altitudes que varían entre los 1000 y 2000 msnm y temperaturas que oscilan entre los 18° y 21.6 ° Celsius, con precipitación anual promedio de 2288.6 mm. Consta de un área de 6923.08 Has (38.7% del área total del municipio), ubicada en el sector Occidental y Suroccidental del municipio.
- Templado Semi Húmedo (TSH): se ubica en altitudes que van desde los 1000 a los 2000 msnm, con temperatura que varía desde los 17° a los 24° Celsius y precipitación promedio anual de 2257.9 mm. Ocupa un área de 1708.98 Has siendo la porción más pequeña del municipio en lo que respecta a provincias climáticas (9.5%). Se caracteriza por ser el sector climático donde se desarrolla el potencial agrícola, pecuario y piscícola del municipio.
- Tierra Cálido Semiárido (Csa): se caracteriza por presentar temperaturas mayores a los 24° Celsius y precipitación anual promedio de 1830.1 mm. Consta de 9217.94 Has correspondientes al 51.5%, la cual se constituye en la unidad con mayor área del municipio.

La hidrología se describe en la agenda ambiental de la siguiente forma:

“El Municipio de Falan tiene un alto potencial hídrico, pues el 70% del área del Municipio está cubierto por caños, cañadas, brotes, reservorios, quebradas y ríos. Las principales fuentes que lo bañan son las Subcuencas de los Ríos Gualí (al Norte) y Sabandija (al Sur). Tanto el Gualí como el Sabandija son tributarios del Río Magdalena. La subcuenca de mayor importancia está constituida por la red hidrológica del Río Sabandija, cuya área es de 16.673,85 Has, la cual es enriquecida por varias microcuencas entre las que sobresalen las del Río Cuamo (hacia el Oriente) y las Quebradas Morales, Murillo, Jiménez y Santaguada, entre otras”

Para el servicio de acueducto la agenda ambiental indica que para la zona urbana se cuenta con un sistema que se abastece de la Quebrada Morales, y posee sistema de tratamiento de agua potable de tipo convencional.

Lo que respecta al alcantarillado, indica que se cuenta con un sistema con baja cobertura, que en promedio cubre el 90.7% del municipio, y se cuenta con cinco vertederos que recogen las aguas residuales, identificándose estos puntos como La Cancha, Vía Matadero, Santa Ana, Morales y Santa Librada, vertiendo sus aguas sobre las quebradas Morales y Murillo sin tratamiento previo.

Teniendo como base el informe que desarrolló el grupo de metas de descontaminación de CORTOLIMA, denominado informe de la línea base para el establecimiento de metas de descontaminación (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA, 2016), en su anexo 3, muestra los resultados de la visita realizada al municipio de Falan el día 25 de agosto de 2015, en la que se recolectó información de las empresas públicas del municipio (Empresa de Servicios Públicos de Falan S.A E.S.P) y se realizó la actualización de los puntos de vertimientos con que cuenta el municipio.

La información entregada por la Empresa de Servicios Públicos de Falan S.A E.S.P, fue la siguiente:

- Existen tres puntos de vertimiento de aguas residuales los cuales son tienen ningún tipo de tratamiento previo antes de ser vertidos a las fuentes hídricas.
- Se indica por parte de la empresa que se cuenta con una concesión de agua otorgada por CORTOLIMA: 11.05 L/Seg de la Quebrada Morales, los cuales se captan para ser tratados y consumidos en su totalidad por la población del casco urbano; concesión dada mediante la Resolución No. 034 del 27 de febrero de 2009.
- También se encontró en los registros de la empresa que en la actualidad cuenta con 600 usuarios para el servicio de acueducto y 600 usuarios para el servicio de alcantarillado.

En la Tabla 23 se muestra la identificación de los puntos de vertimientos existentes en el municipio, las coordenadas respectivas, las fuentes de agua receptoras y los caudales aforados.

VERTIMIENTO	UBICACIÓN	SECTOR	CAUDAL MEDIO (L/S)	Altura msnm	FUENTE RECEPTORA	ESTADO
1. Vertimiento Calle Morales	N 5° 7' 12.0" W 74° 57' 10.4"	Urbano	1.59	925	Quebrada Morales	Directo
2. Vertimiento Calle Córdoba	N 5° 7' 31.5" W 74° 57' 8.4"	Urbano	2.79	944	Quebrada Murillo	Directo
3. Vertimiento Antiguo Matadero	N 5° 7' 34.3" W 74° 56' 50.2"	Urbano	---	909	Quebrada Murillo	Directo

Tabla 23. Vertimientos Identificados - Municipio de Falan Tolima Año 2015.

(Fuente Cortolima – 2015)

El personal de las Empresas Públicas de Falan S.A E.S.P, indican que los vertimientos aforados corresponden al 80% del total del agua vertida por el municipio

En la Imagen 4 se puede apreciar la ubicación de los puntos de vertimientos del municipio de Falan para el año 2015.

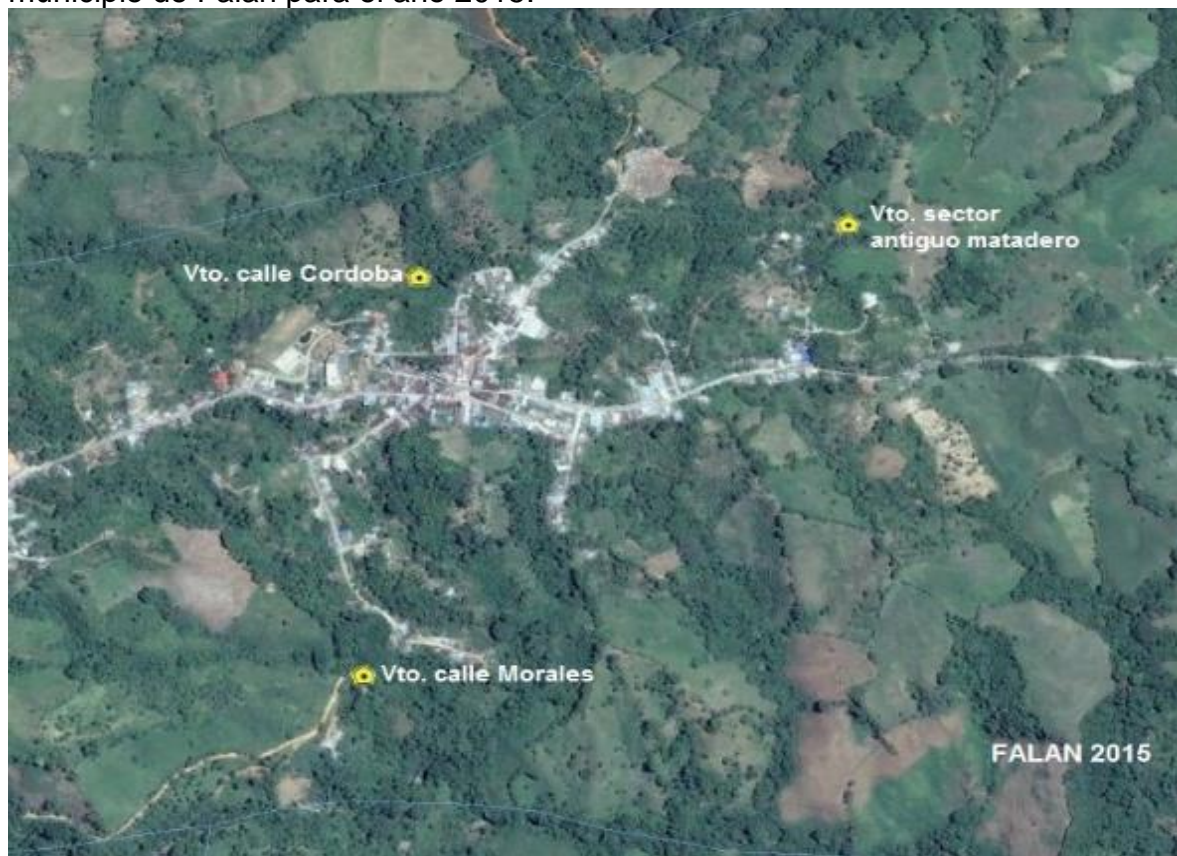


Imagen 4. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Falan Tolima Año 2015

(FUENTE CORTOLIMA - 2015)

2.2.5 MUNICIPIO DE FRESNO

Tomando como referencia lo descrito en la Agenda Ambiental del Municipio, el municipio de Fresno está ubicado al norte del departamento del Tolima dentro de las coordenadas geográficas 5° 09' de Latitud Norte y 75° 02' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, con un área total aproximada de 22483.11 Hectáreas (Ha), divididas en 147.37 Has urbanas y 22.335.74 Has en la zona rural, en la que se cuentan 83 veredas y 6 corregimientos. (CORTOLIMA, 2011).

Se indica que el municipio de Fresno limita al norte con el departamento de Caldas, específicamente con los municipios de Manzanares y Maquetalia, al sur con los municipios de Falan y Casabianca, al oriente con el municipio de Mariquita y al Occidente con el municipio de Herveo.

Además de esto se describe que se cuenta con temperaturas que varían desde los 16.5° hasta los 23.5° Celsius, con una temperatura promedio de 20° en la mayoría del territorio del municipio, y una precipitación anual promedio de 2941.7 mm, variando entre valores de 2600 mm hasta los 4300 mm .

La Agenda Ambiental del Municipio, muestra que para el territorio correspondiente a Fresno, se presentan 5 provincias climáticas, como se muestran a continuación:

- Cálido Húmedo (CH): posee el 3.65% de la extensión total del municipio con un área de 821.67 hectáreas y temperaturas que superan los 23 ° Celsius. Se distribuye hacia el suroriente del municipio en la ribera del Río Gualí.
- Cálido Súper Húmedo (CSH): se establece entre alturas que varían desde los 700 a los 1000 msnm, con temperatura promedio de 21° Celsius y precipitaciones promedio anuales mayores a los 4000 mm. Se ubica al norte del municipio hacia el margen del Río Guarinó. Posee una extensión de 220.26 Has correspondiente al 0.98% del área total del municipio.
- Templado Húmedo (TH): esta provincia climática abarca la mayor parte del territorio del municipio, con una extensión de 12046.99 Has (53.58% del área total), y en ella está localizada la mayor parte de la población. Se encuentra ubicada al sureste del municipio y se constituye en la región de mayor producción agrícola.
- Templado Súper Húmedo (TSH): constituye un área de 8875.71 Has (39.52 % del municipio) y se ubica al costado occidental del municipio.
- Frío Súper Húmedo (FSH): se ubica al costado suroccidental del municipio, con una extensión de 508.49 Has lo que equivale a 2.26% del total del área municipal.

Hidrológicamente el municipio de Fresno se encuentra enmarcado entre las cuencas del Río Gualí y el Río Guarinó, así mismo subcuencas de gran importancia como lo son las de los Ríos Medina y Sucio, y las Quebradas Campeón, Nicúa, San Joaquín, Peñas Gordas, Cascabel y Barreto.

Lo que respecta al servicio de acueducto, la Agenda Ambiental del Municipio de Fresno describe que se cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, que trabaja parcialmente, lo que no garantiza la inocuidad del servicio. Este sistema consta de tres sistemas de distribución para el municipio, que conduce el agua a la parte alta, media y baja de la cabecera municipal.

En la parte rural se cuenta con dos acueductos regionales y acueductos veredales, los cuales no reciben ningún tipo de tratamiento antes de ser distribuidos a la población.

El servicio de alcantarillado, al igual que el de acueducto, es administrado por la empresa de servicios públicos del municipio CORFRESNOS E.S.P. Posee una cobertura del 77%, y no realiza tratamiento de las aguas residuales, vertiendo directamente sobre las fuentes hídricas Quebrada Nicúa, Quebrada El Hospital y Río Sucio. Para la zona rural se expresa que la gran mayoría de los habitantes no cuenta con servicio de saneamiento básico, reflejando condiciones insalubres para la población campesina.

El día 30 de julio del 2015, el grupo de metas de descontaminación, adscrito a CORTOLIMA, desarrolló visita técnica para la identificación de vertimientos y estado actual del saneamiento de estos en el municipio de Fresno.

Teniendo como base el informe de dicha visita, consignado en el anexo 3, del informe Línea Base para el establecimiento de Metas de Reducción de Carga Contaminante para los municipios del Tolima (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA, 2016), se presenta la información reportada por las empresas públicas del municipio (CORFRESNOS E.S.P) y la identificación de los puntos de vertimientos existente.

A continuación se presenta la información entregada por CORFRESNOS E.S.P

- El municipio cuenta en la actualidad con 13 vertimientos de aguas residuales.
- La empresa de servicios públicos cuenta con 3.755 usuarios adscritos del casco urbano del servicio de Acueducto y Alcantarillado.
- Se cuenta con concesión de aguas superficiales de dos fuentes hídricas, otorgada por CORTOLIMA: La Quebrada Guarumo con 40 L/S y la Quebrada San Antonio con 40.37 L/S de los cuales se están tratando 54 L/S y se presenta con consumo promedio de 30 L/S en el municipio de Fresno.

A continuación se muestra la tabla (Tabla 24) con la identificación de los vertimientos existentes en el municipio de Fresno, así como su ubicación (coordenadas) y fuentes receptoras.

VERTIMIENTO	UBICACIÓN	SECTOR	CAUDAL MEDIO (L/s)	Altura msnm	FUENTE RECEPTORA	ESTADO
1. Vertimiento Sector Plaza de Ferias	N 5° 9' 10.4" E 75° 2' 2.6"	Urbano	9,235	1456	Quebrada Nicua	Directo
2. Vertimiento Sector Buñueleros	N 5° 9' 10.27" E 75° 2' 2.95"	Urbano	-	1455	Quebrada Nicua	Directo
3. Vertimiento casas sector plaza de ferias	N 5° 9' 10.1" E 75° 2' 2.7"	Urbano	-	1453	Quebrada Nicua	Directo
4. Vertimiento Sector San Pedro – El Chupo	N 5° 9' 21.5" E 75° 2' 0.6"	Urbano	-	1453	Quebrada Nicua	Directo
5. Vertimiento Sector San Pedro	N 5° 9' 20.4" E 75° 2' 0.2"	Urbano	-	1450	Quebrada Nicua	Directo
6. Vertimiento Antigo Matadero Calle 6	N 5° 9' 14.2" E 75° 2' 0.9"	Urbano	-	1446	Quebrada Nicua	Directo
7. Vertimiento Subestación Eléctrica	N 5° 9' 13.7" E 75° 2' 1.2"	Urbano	-	1448	Quebrada Nicua	Directo
8. Sector Antigo Matadero	N 5° 9' 16.2" E 75° 1' 59.6"	Urbano	-	1444	Quebrada Nicua	Directo
9. Vertimiento Sector Chapoleras	N 5° 9' 1.4" E 75° 1' 39.3"	Urbano	1.833	1455	Quebrada El Hospital	Directo
10. Vertimiento Sector Estadio	N 5° 9' 12.7" E 75° 1' 54.9"	Urbano	-	1422	Quebrada Nicua	Directo
11. Vertimiento Sector San Luis	N 5° 1' 11.4" E 75° 1' 28.3"	Urbano	-	1301	Quebrada Nicua	Directo
12. Vertimiento Cementerio	N 5° 9' 12.18" E 75° 1' 43.15°	Urbano	-	1389	Quebrada Nicua	Directo
13. Vertimiento Barrio Caldas	N 5° 9' 34.1" E 75° 2' 10.8"	Urbano	-	1504	Rio Sucio	Directo

Tabla 24. Vertimientos Identificados - Municipio de Fresno Tolima Año 2015.

(Fuente Cortolima – 2015)

El caudal aforado en el municipio corresponde al 70% de la totalidad del agua vertida, según lo estipulado por personal de CORFRESNOS E.S.P.

Igualmente se presenta en la Imagen 5 se muestra la ubicación de los puntos de vertimientos encontrados en el municipio de Fresno.

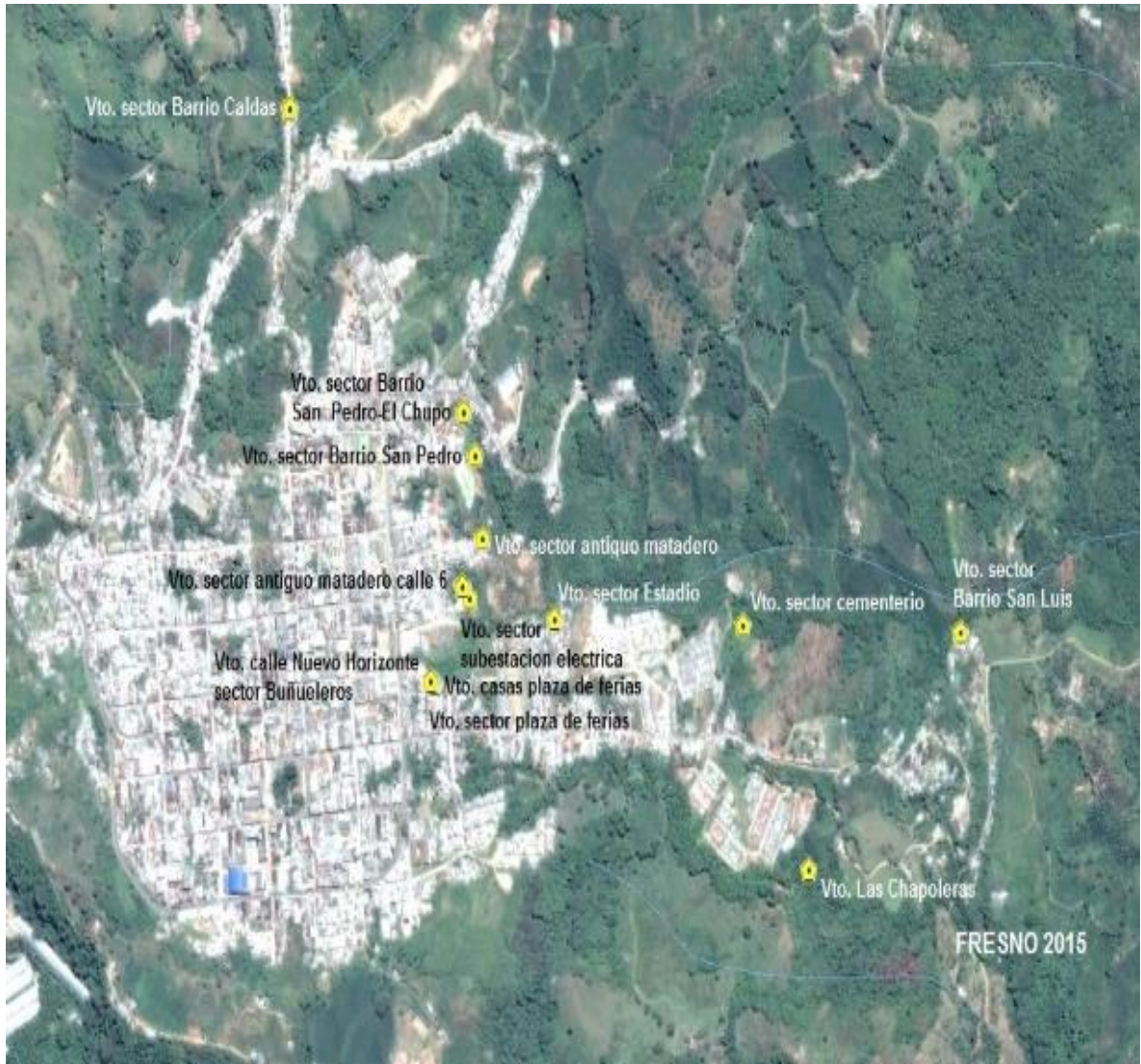


Imagen 5. Ubicación Puntos de Vertimientos Municipio de Fresno Tolima Año 2015

(FUENTE CORTOLIMA-2015)

A continuación se muestra el resumen de los puntos de vertimientos por vertientes encontradas, fuentes receptoras y datos promedio de temperatura y altura sobre el nivel del mar, encontrados en las cabeceras municipales de los municipios en estudio.

Municipio Año 2015	Fuente Receptora	Vertimientos por Fuente Receptora	Vertientes Existentes	Altura Sobre el Nivel del Mar (m)	Temperatura Ambiente Urbana
HERVEO	Quebrada la Ciega	3	2	2250	16 °C
	Quebrada El Perfume	2			
CASABIANCA	Quebrada La Calzada	1	2	2081	17 °C
	Quebrada Santa Rita	2			
	Quebrada Cajita	1			
PALOCABILDO	Quebrada El Rompe	2	2	1450	20 °C
	Quebrada Chisperos	1			
	Capo de infiltración	1			
FALAN	Quebrada Morales	2	2	990	24 °C
	Quebrada Murillo	1			
FRESNO	Quebrada Nicua	11	3	1465	20 °C
	Quebrada Hospital	1			
	Quebrada Afluyente a Rio Sucio	1			

Tabla 25. Resumen Vertimientos encontrados y vertientes municipios en estudio.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARS) dentro de sus planes y programas de seguimiento y control de la contaminación a fuentes hídricas, aúnan esfuerzos para la valoración de la contaminación e identificación de los vertimientos, que realizan los diferentes usuarios, entre los que se encuentran aquellos que están sujetos a cobro de tasas retributivas. Estos usuarios se clasifican en industriales, domésticos y de servicios públicos, siendo estos últimos los municipios y empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado.

Los entes de control ambiental dentro de su autonomía, tienen como prioridad el diagnóstico de las cargas contaminantes vertidas por los usuarios anteriormente mencionados, y específicamente la caracterización y conocimiento real de la contaminación actual que están recibiendo los cuerpos de agua que cruzan por los municipios; fuentes hídricas que sufren un deterioro mayor por ser receptores primarios de aguas con cargas elevadas de contaminantes y en la mayoría de los casos convirtiéndose en receptores de aguas residuales sin tratamiento previo.

Las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado cuentan con un instrumento denominado Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), los cuales son presentados por los municipios para proyectar las obras y actividades enfocadas a la eliminación de vertimientos y tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas, para el caso que nos ocupa Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA” una vez los aprueba establece seguimientos anuales al cumplimiento de las obligaciones establecidas en estos planes, donde se analizan los avances respectivos en la eliminación de vertimientos y obras desarrolladas por lo municipios, entre las que se encuentran la construcción de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Muchos de estos planes no se encuentran aprobados aún por la Corporación y en su gran mayoría están próximos a terminar los periodos que se plantearon para la construcción de obras y sistemas de tratamiento, sin que en la actualidad se tenga un horizonte claro debido a los atrasos en la ejecución de los planes propuestos. Esto lleva a realizar un análisis de la situación actual, comparando con lo que se planteó inicialmente en los PSMV, confrontando primordialmente los puntos de vertimientos encontrados con los anteriormente expuestos y los posibles sistemas de tratamiento con los que cuente cada municipio.

Con el objetivo primordial de dar cumplimiento a la normatividad ambiental que rige actualmente el tema de vertimientos, así como a los límites máximos permisibles descritos por la resolución 631 de 2015, se realiza un análisis de manera global sobre la problemática que se presenta actualmente en los municipios bajo estudio, en lo que respecta a número de puntos de vertimientos aislados existentes (año 2015), estimación de caudal promedio de vertimiento y cargas contaminantes.

Así mismo se estima la proyección de la población de la cabecera de cada uno de los municipios, y la variación de los posibles caudales dependiendo de la complejidad que presentan en cuanto a la población actual.

Esto dará información para la estimación de los parámetros necesarios para el planteamiento de los esquemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que estarán proyectados a cumplir con lo reglamentado por la resolución 631 de 2015.

A continuación se presenta el análisis de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos que fueron presentados por los municipios en estudio ante CORTOLIMA, teniendo en cuenta que algunos de ellos no han sido aprobados aun, y se realiza la comparación de la cantidad de vertimientos iniciales y los que se tienen actualmente (año 2015), así como los sistemas de tratamiento que en un principio se tenían en las cabeceras municipales y con los que cuentan hoy en día.

De igual forma se presenta un estimativo de las cargas contaminantes generadas por cada municipio, por medio de caracterizaciones a las aguas residuales realizadas por CORTOLIMA, así como el cálculo de los caudales de vertimiento de aguas residuales domésticas, tanto estimados como aforados, en cada uno de los municipios en estudio.

Es de notar que si bien se basará el presente trabajo en el cumplimiento de la Resolución 631 de 2015, los objetivos de calidad representan valores mucho más restrictivos, que si bien en la actualidad no todas las fuentes hídricas que reciben vertimientos en el departamento cuentan con estos, se hace necesario estudios detallados para la implementación de los mismos y el control de la contaminación que se vierte sobre estas corrientes. Estos valores restrictivos de las corrientes y una gestión adecuada del recurso hídrico, dará insumos valederos y certeros para una exigencia sobre los tipos de sistemas de tratamiento y tecnologías a implementar por cada uno de los usuarios que realizan vertimientos sobre las fuentes hídricas superficiales.

3.1 Análisis de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)

A continuación se presenta el análisis de los PSMV correspondientes a los municipios en estudio:

3.1.1 MUNICIPIO DE HERVEO

Los servicios públicos del municipio de Herveo son administrados por la Empresa de Servicios Públicos del Municipio EMPOHERVEO S.A E.S.P, ubicada en la Carrera 6ª N° 5-39, identificada con NIT 900.325.093-5.

CORTOLIMA Por medio de la Resolución No. 1420 del 25 de mayo de 2010, aprobó el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV, del municipio de Herveo, en el cual se encontró consignado lo siguiente:

El servicio de alcantarillado presenta una cobertura del 95%, debido a que un sector del barrio La Punta no cuenta con sistema de alcantarillado.

El sistema de alcantarillado descarga las aguas residuales directamente a las quebradas La Ciega, El Tejar, El Perfume y Las Peñas y a potreros cercanos, creando 8 emisarios finales con descargas de los barrios Villanueva, Las Palmeras, Guillermo Buritica, Pastrana y San Martín a la Quebrada la Ciega. Descargas en la Quebrada El Tejar de un sector de los barrios San Martín y el Tejar, descargas en la Quebrada El Perfume de los barrios Santander, El Tejar y un sector del barrio La Punta; también se producen descargas residuales en la Quebrada Las Peñas de los barrios San Vicente Y La Punta y se producen descargas a potreros cercanos en los barrios la Plazuela, parte de San Vicente y La Punta.

Existen varios centros poblados del municipio que cuentan con sistema de alcantarillado, tales como lo son:

- **Centro Poblado Padua:** el sistema de alcantarillado presenta una cobertura del 100%, el sistema es de tipo combinado y las aguas residuales se descargan directamente a las Quebradas Las Piedras Gordas, el matadero, drenajes intermitentes y potreros cercanos creando fuentes de contaminación.
- **Centro Poblado Letras:** el sistema de alcantarillado presenta una cobertura del 100%, el sistema es de tipo combinado y las aguas residuales se descargan a drenajes intermitentes y potreros cercanos creando fuentes de contaminación.
- **Centro Poblado El Brasil:** Las aguas residuales de este centro poblado descargan directamente a drenaje intermitentes, Río Perillo y potreros cercanos generando fuentes de contaminación.

La zona rural del municipio no cuenta con sistema de alcantarillado para el manejo y disposición final de aguas residuales y el porcentaje de pozos sépticos, letrinas y a campo abierto es bajo, presentando algunas veredas como el Águila, La Estrella, Monterredondo, El Arenillo, la Leonera, La Picota, entre otras un escaso número de pozos sépticos.

Las proyecciones de población se realizaron de acuerdo a los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, en el censo de 2005 y teniendo en cuenta las proyecciones de los años futuros, se tiene una tasa de crecimiento anual del 0.05%.

A continuación se muestra los valores Percapita hallados para el municipio de Herveo, calculados a partir de los valores presentados para las proyecciones de cargas contaminantes.

DBO: 0.039 Kg/hab/día

SST: 0.047 Kg/hab/día

Se llevó a cabo el cálculo de la carga contaminante generada de DBO₅ y SST totales aportadas por el municipio de Herveo, en el cual se proyectó la población teniendo en cuenta la población del año 2005 establecida por el DANE.

El cálculo de proyección de carga contaminante se realiza de la siguiente forma:

$$(PP * Población * 365) / (1000)$$

Dónde:

- **PP=** Carga Percapita (Tener en cuenta que para la proyección el municipio tomo un valor percapita promedio de DBO=0.039 Kg/hab/día, SST=0.047 Kg/hab/día.
- **Población=** Población proyectada para el municipio de Herveo al año correspondiente de la proyección.

Las etapas de desarrollo del PSMV comprenden las siguientes obras y actividades, para los plazos establecidos a Corto (2 años), Mediano (5 años) y Largo Plazo (10 años), así:

Zona Urbana

- **Corto plazo (2009-2010):** completar el 100% en las siguientes actividades: Actualización del plan maestro de alcantarillado en la zona urbana de Herveo, Terminación de los colectores sector las palmeras, sector matadero y PTAR 1 del casco urbano de Herveo y Actualización del Plan Maestro de Alcantarillado en el centro poblado de Padua; 20% en: Construcción y optimización de redes de alcantarillado en la zona urbana (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Construcción y optimización de redes de alcantarillado en el centro poblado de Padua (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Actualización y monitoreo periódica de los vertimientos sector matadero y sector las palmeras y Monitoreo periódico del cuerpo receptor (Quebrada La Mina, Q. Rin Ran, Q. Cajones y Q. Aguacatal) y 11.11% en Construcción de la PTAR 2 del casco urbano de Herveo I y II Etapa.
- **Mediano plazo (2009-2013):** adelantar el 50% en las siguientes actividades: Construcción y optimización de redes de alcantarillado en la zona urbana (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Construcción

y optimización de redes de alcantarillado en el centro poblado de Padua (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Actualización y monitoreo periódica de los vertimientos sector matadero y sector las palmeras y Monitoreo periódico del cuerpo receptor (Quebrada La Mina, Q. Rin Ran, Q. Cajones y Q. Aguacatal) y el 44.44% en Construcción de la PTAR 2 del casco urbano de Herveo I y II Etapa.

- **Largo plazo (2009-2018):** completar al 100% las siguientes actividades: Construcción y optimización de redes de alcantarillado en la zona urbana (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Construcción y optimización de redes de alcantarillado en el centro poblado de Padua (ampliación de cobertura y disminución de conexiones erradas), Actualización y monitoreo periódico de los vertimientos sector matadero y sector las palmeras y Monitoreo periódico del cuerpo receptor (Quebrada La Mina, Q. Rin Ran, Q. Cajones y Q. Aguacatal) y Construcción de la PTAR 2 del casco urbano de Herveo I y II Etapa.

Según lo encontrado en el expediente correspondiente al PSMV de Herveo, para el año 2014 no se contaba con avances en las actividades propuestas para la reducción de cargas contaminantes, tales como construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Inicialmente se reportaron 29 vertimientos con sus coordenadas, sin embargo no es clara la especificación sobre el sitio de descarga y el sector, así como la fuente receptora de los vertimientos.

En la Tabla 26, se muestran los vertimientos inicialmente reportados por el PSMV del municipio de Herveo.

VERTIMIENTO	COORDENADAS	
	N	E
1. Vertimiento 1	1053790.86	877709.74
2. Vertimiento 2	1053806.10	877812.65
3. Vertimiento 3	1053742.39	877785.08
4. Vertimiento 4	1053746.79	877821.66
5. Vertimiento 5	1053717.50	877870.80
6. Vertimiento 6	1053749.44	877915.10
7. Vertimiento 7	1053659.50	877915.10

8. Vertimiento 8	1053527.05	877947.55
9. Vertimiento 9	1053458.65	877904.47
10. Vertimiento 10	1053425.91	877906.70
11. Vertimiento 11	1053389.12	877926.58
12. Vertimiento 12	1053454.24	877942.42
13. Vertimiento 13	1053386.72	878175.14
14. Vertimiento 14	1053201.67	878492.23
15. Vertimiento 15	1053380.23	878427.64
16. Vertimiento 16	1053446.74	878424.77
17. Vertimiento 17	1053480.96	878498.05
18. Vertimiento 18	1053500.82	878515.52
19. Vertimiento 19	1053650.53	878575.04
20. Vertimiento 20	1053706.81	878570.99
21. Vertimiento 21	1053714.17	878541.90
22. Vertimiento 22	1053938.76	878646.40
23. Vertimiento 23	1053926.25	878577.97
24. Vertimiento 24	1053890.56	878474.12
25. Vertimiento 25	1053870.69	878418.89
26. Vertimiento 26	1053826.55	878389.06
27. Vertimiento 27	1053791.85	878370.01
28. Vertimiento 28	1053758.00	878337.83
29. Vertimiento 29	1053732.62	878324.21

Tabla 26. Vertimientos Reportados PSMV HERVEO TOLIMA
(Fuente Cortolima – 2015)

Como comparación de lo encontrado actualmente en el municipio y lo reportado inicialmente por el PSMV, se tiene la Tabla 27, en la cual se muestra cuáles de los vertimientos iniciales coinciden con los encontrados en la actualidad (año 2015) tal como se mencionó en el numeral 2.2.1 (Municipio de Herveo). En esta comparación se encontró que dos de los vertimientos que se reportaron al inicio por el PSMV aún existen, sumado a otros dos nuevos encontrados para un total

de cinco (5) vertimientos en el municipio correspondientes a los puntos V12, V20, V28 y V29.

Descripción		Este	Norte	Caudal (l/s)	Fuente Receptora	Observación*
V1	Vertimiento 1	877709.74	1053790.86		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V2	Vertimiento 2	877812.65	1053806.10		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V3	Vertimiento 3	877785.08	1053742.39		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V4	Vertimiento 4	877821.66	1053746.79		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V5	Vertimiento 5	877870.80	1053717.50		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V6	Vertimiento 6	877915.10	1053749.44		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V7	Vertimiento 7	877915.11	1053659.50		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V8	Vertimiento 8	877947.55	1053527.05		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V9	Vertimiento 9	877904.47	1053458.65		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V10	Vertimiento 10	877906.70	1053425.91		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V11	Vertimiento 11	877926.58	1053389.12		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V12	Vertimiento 12	877942.42	1053454.24		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento 1 El Perfume - coordenadas X

						877982,54 Y 1053434,389-Fuente receptora: Q. El Perfume-Rio Cajones-Rio Guali- Rio Magdalena
V13	Vertimiento 13	878175.14	1053386.72		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V14	Vertimiento 14	878492.23	1053201.67		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V15	Vertimiento 15	878427.64	1053380.23		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V16	Vertimiento 16	878424.77	1053446.74		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento antiguo Matadero - coordenadas X 878466,155 Y 1053399,773-Fuente receptora: Q. La Ciega-Rio Guali-Rio Magdalena
V17	Vertimiento 17	878498.05	1053480.96		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V18	Vertimiento 18	878515.52	1053500.82		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V19	Vertimiento 19	878575.04	1053650.53		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V20	Vertimiento 20	878570.99	1053706.81	1,13	Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento 2 La Ciega - coordenadas X 878596,111 Y 1053734,435-Fuente receptora: Q. La Ciega-Rio Guali-Rio Magdalena

V21	Vertimiento 21	878541.90	1053714.17		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V22	Vertimiento 22	878646.40	1053938.76		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V23	Vertimiento 23	878577.97	1053926.25		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V24	Vertimiento 24	878474.12	1053890.56		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V25	Vertimiento 25	878418.89	1053870.69		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V26	Vertimiento 26	878389.06	1053826.55		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V27	Vertimiento 27	878370.01	1053791.85		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V28	Peña	877427,854	1053343,16		Q. El Perfume- Rio Cajones- Rio Guali- Rio Magdalena	Vertimiento encontrado nuevo en campo.
V29	La Ciega	878460,347	1053608,7	0,88	Q. La Ciega-Rio Guali-Rio Magdalena	Vertimiento encontrado nuevo en campo.

Tabla 27. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Herveo Tolima.

(Fuente Cortolima – 2015)

Para la zona rural, correspondiente a centros poblados, veredas y corregimientos no se plantean PSMV.

3.1.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA

Los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, son administrados por la empresa SERVICASABIANCA ESP, identificada con NIT 900.349.919-7,

ubicada en la carrera 3 No. 3-23, contigua a las instalaciones del palacio municipal.

A la fecha, este municipio no cuenta con el PSMV aprobado por CORTOLIMA, por lo cual mediante Resolución N° 364 del 12 de febrero de 2010, el municipio de Casabianca se hizo acreedor de una sanción pecuniaria por los incumplimientos reiterativos de lo estipulado por la Corporación.

Así mismo el 03 de abril de 2012, mediante oficio radicado con N° 6112, CORTOLIMA requiere nuevamente correcciones al PSMV del municipio de Casabianca; mediante radicado con N° 14083 la Empresa de Servicios Públicos de Casabianca SERVICASABIANCA E.S.P, entrega a la Corporación la actualización del PSMV, sin que en la actualidad se tenga respuesta o aprobación del mismo.

Se tiene como reporte inicial de los vertimientos del municipio la existencia de doce (12) puntos de vertimientos para la cabecera municipal, con sus coordenadas, fuente receptora y caudal medido de alguno de ellos, tal como se muestra en la Tabla 28

VERTIMIENTO	COORDENADAS		FUENTE RECEPTORA	CAUDAL L/S
	N	E		
1 Mirador de Caldas	1053500	884090	Q. Santa Rita-Rio Azufrado	0.182
2. Barrio el Progreso	1053300	884080	Q. Santa Rita-Rio Azufrado	1.360
3. Vertimiento Puntual	1053300	884170	Q. Santa Rita-Rio Azufrado	
4. Matadero Antiguo	1053205	884180	Q. Santa Rita-Rio Azufrado	0.890
5. Descarga Principal	1053580	884530	Q. La Calzada-Rio Azufrado	4.130
6. Vertimiento Puntual	1053690	884610	Q. La Calzada-Rio Azufrado	
7. Barrio Las Camelias	1053690	884890	Q. La Calzada-Rio Azufrado	0.350
8. Subsistema Barrio Divino Niño	1053212	884203		

9. Subsistema Salida Herveo	1053301	884071		
10. Subsistema Cuenca Gualí	1053781	884440		
11. Sector Salida a Palo Cabildo	1056551	891511		
12. Alcantarillado Sector Colegio Marco Fidel Suarez	1056539	891509	Calle 3 Salida veredal	

Tabla 28. Vertimientos Reportados PSMV CASABIANCA TOLIMA.
(Fuente Cortolima – 2015)

Como resultado de la comparación de los puntos de vertimientos reportados inicialmente por el PSMV del municipio de Casabianca y los encontrados actualmente (Año 2015), se presenta la Tabla 29, como se muestra a continuación. En este caso coinciden dos vertimientos con los reportados inicialmente, sumado a dos puntos nuevos, para un total de cuatro (4) vertimientos encontrados en campo, correspondientes a los puntos V8, V10, V13 y V14.

Para la zona rural del municipio de Casabianca no se plantean PSMV.

Descripción		Este	Norte	Caudal (l/s)	Fuente Receptora	Observación*
V1	Mirador Caldas	884090,00	1053500,0		Q. Santa Rita-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V2	Barrio El Progreso	884080,00	1053300,0		Q. Santa Rita-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V3	Vertimiento puntual	884170,00	1053300,0		Q. Santa Rita-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V4	Matadero Antiguo	884180,00	1053205,0		Q. Santa Rita-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V5	Descarga Principal	884530,00	1053580,0		Q. La Calzada-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.

V6	Vertimiento puntual	884610,00	1053690,0		Q. La Calzada-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V7	Barrio Las Camelias	884890,00	1053690,0		Q. La Calzada-Rio Azufrado	Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V8	Subsistema Barrio Divino Niño	884203,00	1053212,0		Q. Negra	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento Sector Divino Niño-coordenadas X 884112,27 Y 1053096,11.
V9	Subsistema salida Herveo	884071,00	1053301,0			Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V10	Subsistema cuenca Guali	884440,00	1053781,0		Q. Cajita	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento salida Palocabildo coordenadas X 884429,76 Y 1053783,79.
V11	Sector salida a Palocabildo	891511,00	1056551,0			Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V12	Alcantarilla do Sector Colegio Marco Fidel Suarez	891509,00	1056539,0			Vertimiento reportado en el PSMV y No se encontró en campo.
V13	PTAR 1	1053506,0	884800,22	2,61	Q Calzada y ésta a la Q Santa Rita.	Vertimiento nuevo encontrado en campo.
V14	PTAR 2	1053169,4	884157,67	1,71	Quebrada santa Rita.	Vertimiento nuevo encontrado en campo.

Tabla 29. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Casabianca Tolima.

(Fuente Cortolima – 2015)

El municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, la cual se encuentra para el año 2015 sin operación, conforme a que no se ha entregado en su totalidad la obra civil. Este sistema está conformado por un reactor UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), filtro percolador y desinfección por cloro. Esta obra inicio su construcción en el año 2012 y como se mencionó, no ha sido operada aun a la espera de la culminación de obras y la entrega al municipio.

3.1.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO

En el municipio de Palocabildo, los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y aseo, son administrados por la JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL (JAC) PRESTADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO, la cual se encuentra ubicada en la Carrera 7 N° 5-14.

A la fecha, para el municipio de Palocabildo no cuenta con PSMV aprobado por CORTOLIMA. La Corporación ha realizado requerimientos desde el año 2008 para el cumplimiento de los términos de referencia expedidos por esta. El ultimo requerimiento fue realizado en el año 2014 mediante Resolución 3996 del 25 de julio, en el que se solicita al alcalde del municipio de Palocabildo o a quien haga las veces de representante de las Empresas Publicas del Municipio la presentación de forma inmediata del documento del PSMV acorde a lo estipulado previamente por CORTOLIMA.

Los puntos de vertimientos reportados inicialmente por el municipio en el PSMV, se muestran a continuación en la Tabla 30

VERTIMIENTO	COORDENADAS		FUENTE RECEPTORA
	N	E	
1. Vertimiento Barrio Fátima	5°7' 7.0"	75° 1' 22.3"	Quebrada EL Rompe
2. Vertimiento la Rivera	5° 6' 54.2"	75° 1' 14.1"	Quebrada. EL Rompe
3. Pozo séptico Barrio Las Brisas	5° 7' 26.7"	75° 1' 6.7"	

4. Vertimiento Barrio Gualí	5° 7' 18.5"	75° 1' 32.4"	Quebrada Chsiperos
-----------------------------	-------------	--------------	--------------------

Tabla 30. Vertimientos reportados PSMV PALOCABILDO TOLIMA.
(Fuente Cortolima – 2015)

Con base en lo encontrado en la actualidad (Año 2015) se comparan los vertimientos inicialmente reportados, lo que se muestra en la Tabla 31. De los vertimientos que se reportaron inicialmente, todos se encontraron, lo que indica que no se han realizado obras enfocadas a la eliminación de estos puntos, coincidiendo los vertimientos V1, V2, V3 y V4.

Descripción		Este	Norte	Caudal (l/s)	Fuente Receptor a	Observación*
V1	Barrio Fátima	895175,93	1057846,5	34.02	Quebrada El Rompe	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento Barrio Fátima coordenadas X 895175,927 Y 1057846,506.
V2	La Rivera	895427,94	1057452,9	1.70	Quebrada El Rompe	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento Barrio La Rivera- coordenadas X 895427,94 Y 1057452,897
V3	Pozo séptico Barrio Las Brisas	895657,35	1058451,0		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento Barrio Las Brisas- coordenadas X 895657,352 Y 1058451,016
V4	Barrio Gualí	894865,33	1058200,2		Rio Guali	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento Barrio Guali- coordenadas X 894865,331 Y 1058200,264

Tabla 31. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Palocabildo Tolima.
(Fuente Cortolima – 2015)

3.1.4 MUNICIPIO DE FALAN

El saneamiento básico en el municipio de Falan, específicamente los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, es administrada por la empresa Aguas de Falan S.A.S E.S.P, identificada con NIT: 900.664.895-3, ubicada en la Calle 6 N° 3-61.

Para el municipio de Falan mediante Resolución N° 1607 del 21 de junio de 2010, CORTOLIMA aprueba el PSMV presentado por el municipio, conforme a concepto técnico del 09 de junio de 2010.

Según lo descrito en el documento que fue aprobado el sistema de alcantarillado del municipio de Falan se encuentra compuesto por tres colectores con una cobertura total aproximada del 70%.

Los tres colectores mencionados son:

- **Colector Calle Morales:** Conducen las aguas desde la parte más alta del municipio, en los sectores de la calle 5 vía principal, parque de santa librada hasta la calle Morales, vierte a la quebrada Morales.
- **Colector Córdoba:** Conducen aguas de la parte alta y media del municipio, en los sectores del barrio Santa Ana – Polideportivo, Piscina, vía la Argentina, calle 7 y conjunto villa Luz, vierte sus aguas a la Quebrada Murillo.
- **Colector Matadero:** Conduce las aguas de la parte media y baja del municipio en los sectores posterior a la calle principal del banco y alcaldía y la vía principal e lo sectores del hospital y el matadero, tiene la particularidad que tienen un campo de infiltración por cultivo de guadua a 100 m de longitud expuesto, Vierte sus aguas a la quebrada Murillo.

El municipio de Falan no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales antes de ser vertidas

En cuanto a la zona rural el municipio de Falan cuenta con el Centro poblado de Frías, donde existe una red de alcantarillado la cual tienen un cubrimiento mínimo, no existe sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, por lo cual finalmente son depositadas al drenaje natural que para este caso es la Quebrada el Chulo.

Las proyecciones de población se realizaron de acuerdo a los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, en el censo de 2005, con una tasa de crecimiento anual del 1.98%.

En cuanto a los vertimientos del municipio de Falan son los siguientes:

Zona Urbana:

1. Quebrada Murillo N: 1058597 E: 902913 – Rio Cuamo

2. Quebrada Murillo N: 1058488 E: 903454– Rio Cuamo
3. Quebrada Murillo N: 1058461 E: 902626– Rio Cuamo
4. Quebrada Morales N: 1058573 E: 903194– Rio Cuamo
5. Caño Santa Librada – Quebrada Morales N: 1058521 E: 902777– Rio Cuamo

Corregimiento de Frías

1. Quebrada Patibura o La Mina N: 1047920 E: 896420

El municipio proyecta para el año 2015, la eliminación de tres puntos de vertimientos de los cinco puntos existentes, por lo cual se tendrían dos puntos de vertimientos al final de periodo denominado largo plazo. No obstante lo anterior, en el PSMV se plantea la construcción de tres plantas de tratamiento, dos de ellas sobre la Quebrada Morales y una sobre la Quebrada Murillo, lo que no concuerda con la cantidad de puntos de vertimientos que se tendría finalmente.

Los afluentes receptores de las aguas residuales provenientes del casco urbano del Municipio de Falan son las quebradas Murillo y Morales las cuales son afluentes del río Cuamo.

Para los valores Percapita de DBO Y SST se tomaron los valores Percapita determinados por CORTOLIMA, en el programa de tasas retributivas de 42 gr/hab-día de DBO y 50 gr/hab-día de SST, debido a que los valores presentados por el municipio de Falan se encuentran por debajo de los valores promedio nacionales y regionales, posiblemente por la época climática en que se realizaron los aforos.

Se llevó a cabo el cálculo de la carga contaminante de DBO₅ y SST totales aportadas por el municipio de Falan, en el cual se proyectó la población según estadísticas del DANE, a partir de censo del año 2005 teniendo en cuenta la cabecera municipal.

El cálculo de proyección de carga contaminante se realiza de la siguiente forma:

$$(PP * Población * 365) / (1000)$$

PP= Carga Percapita (Tener en cuenta que para la proyección e municipio tomo un valor percapita promedio de DBO=0.042 Kg/hab/día, SST=0.05 Kg/hab/día.

Población= Población proyectada para el municipio de Falan al año correspondiente de la proyección.

Población:

Las etapas de desarrollo del PSMV comprenden las siguientes obras y actividades, para los plazos establecidos a Corto (2 años), Mediano (5 años) y Largo Plazo (10 años), así:

Zona Urbana

- **Corto plazo (2010-2011):** Se plantea adelantar al 66.66% en: la Construcción colector 1 Matadero – Río Murillo, Construcción colector 2 Córdoba (Piscina)-Río Murillo, 33.33% Construcción colector 3 – Río Murillo, 50% de la Construcción colector 4 – Quebrada Morales.
- **Mediano plazo (2010-2014):** Adelantar al 100% las siguientes actividades: Construcción colector 1 Matadero – Río Murillo, la Construcción colector 2 Córdoba (Piscina)-Río Murillo, Construcción colector 3 – Río Murillo, Construcción colector 4 – Quebrada Morales, Construcción colector 5 – Quebrada Morales, Construcción PTAR Sector Río Murillo (PTAR 1), Construcción PTAR Sector 1 Quebrada Morales (PTAR 2), Diseño Plan Maestro de alcantarillado de Frías, adelantar el 50% de Construcción PTAR Sector 2 Quebrada Morales (PTAR 3) y Construcción Alcantarillado de Frías.
- **Largo plazo (2010-2019):** Desarrollar al 100% las siguientes actividades: Construcción PTAR Sector 2 Quebrada Morales (PTAR 3), Construcción Alcantarillado de Frías, Construcción PTAR (PTAR Frías), Arranque PTAR 1, Arranque PTAR 2, Arranque PTAR 3 y Arranque PTAR – Frías.

En la actualidad no se cuenta con sistemas de tratamiento para el municipio de Falan, además no se ha cumplido con lo estimado en la eliminación de puntos de vertimientos.

Tal como se mencionó en el numeral 2.2.4 municipio de Falan, actualmente se cuenta con tres vertimientos, lo cual será comparado en las siguientes tablas, conforme a lo reportado inicialmente por el PSMV.

En la Tabla 32 se reportan los vertimientos reportados inicialmente por el PSMV para la zona urbana del municipio de Falan.

VERTIMIENTO	COORDENADAS		FUENTE RECEPTORA
	N	E	
1 Quebrada Murillo	1058597	902913	Q. Murillo– Río Cuamo
2 Quebrada Murillo	1058488	903454	Q. Murillo– Río Cuamo
3 Quebrada Murillo	1058461	902626	Q. Murillo– Río Cuamo
4 Quebrada Morales	1058573	903194	Q. Morales – Río Cuamo

5 Caño Santa Librada	1058521	902777	Q. Morales – Rio Cuamo
----------------------	---------	--------	---------------------------

Tabla 32. Vertimientos Reportados PSMV FALAN TOLIMA.
(Fuente Cortolima – 2015)

Los vertimientos encontrados en la actualidad (Año 2015) se comparan con los reportados inicialmente por el municipio de Falan, para lo cual se presenta la Tabla 33 como se muestra a continuación. De los cinco puntos de vertimientos reportados, no se encontró ninguno bajo las coordenadas establecidas inicialmente. No obstante se encontraron tres (3) puntos nuevos de vertimientos, correspondientes a los puntos V7, V8 y V9.

Descripción		Este	Norte	Caudal (l/s)	Fuente Receptora	Observación
V1	Quebrada Murillo	902913,00	1058597,00		Q. Murillo-Rio Cuamo	Vertimiento reportado en el PSMV pero no se encontró en campo.
V2	Quebrada Murillo	903454,00	1058488,00		Q. Murillo-Rio Cuamo	Vertimiento reportado en el PSMV pero no se encontró en campo.
V3	Quebrada Murillo	902626,00	1058461,00		Q. Murillo-Rio Cuamo	Vertimiento reportado en el PSMV pero no se encontró en campo.
V4	Quebrada Morales	903194,00	1058573,00		Q. Morales-Rio Cuamo	Vertimiento reportado en el PSMV pero no se encontró en campo.
V5	Caño Santa Librada	902777,00	1058521,00		Q. Morales-Rio Cuamo	Vertimiento reportado en el PSMV pero no se encontró en campo.
V7	Calle Morales	902935,523	1057989,11	1.59	Q. Morales-Rio Sadandija	Vertimiento nuevo encontrado en campo.
V8	Calle Cordoba	902997,946	1058588,08	2.79	Q. Murillo	Vertimiento nuevo encontrado en campo.
V9	Sector antiguo Matadero	903558,674	1058673,34		Q. Murillo	Vertimiento nuevo encontrado en campo.

Tabla 33. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Falan Tolima.
(Fuente Cortolima – 2015)

Si bien dentro del PSMV se menciona el corregimiento de Frías, no se contemplan obras de saneamiento como construcción de sistemas de tratamiento.

3.1.5 MUNICIPIO DE FRESNO

Los servicios públicos de acueducto, aseo y alcantarillado del municipio de Fresno, es administrado por la Corporación Fresnense de Obras Sanitarias – CORFRESNOS E.S., identificada con NIT: 800123131-7, ubicada en la calle 2 N° 8-19

CORTOLIMA por medio de la Resolución N° 2557 del 16 Octubre de 2009, aprobó el PSMV presentado por el municipio de Fresno Tolima.

En el análisis del documento del PSMV que fue aprobado por parte de la Corporación, se describe que para el municipio de Fresno el porcentaje de cobertura de la red de alcantarillado del municipio de Fresno es del 99%, dato que se tuvo en cuenta al momento de calcular la carga contaminante recolectada y transportada en la matriz de descontaminación.

El colector Interceptor de la Quebrada Hospital canalizo varios vertimientos individuales de viviendas y 7 puntos de vertimientos representativos de la red de alcantarillado de los cuales la mayoría no estaban contemplados en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos. Estos vertimientos corresponden a los sectores Centro, Hospital, Las Margaritas, Villa del Prado, Simón Bolívar, sector Estadio y Nuevo Horizonte y por último el vertimiento de la Chapolera.

El centro poblado El Tablazo cuenta con una PTAR, con reactor microbiológico – Tipo tanque séptico y se ubica bajo las coordenadas N 5°11'48.2" W 75°5'9.37", realiza su vertimiento sobre la Quebrada Cañada Barreto, Afluente del Rio Guarino.

Para la zona rural no se plantean PSMV ni obras enfocadas a la eliminación de puntos de vertimientos y la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Las proyecciones de población se realizaron por medio de los métodos aritmético, geométrico, exponencial y se realizó el promedio de estos tres métodos, acorde a las recomendaciones y métodos establecidos en el RAS 2000.

En cuanto a los vertimientos del municipio de Fresno son los siguientes:

1. Hospital
2. Villa del Prado
3. Cementerio
4. Barrió las Chapoleras
5. Barrió San Luis
6. Plaza de Ferias
- 7 y 8. Subestación Eléctrica
9. Antiguo Matadero
10. El Barrio

Además en el municipio se cuenta con la planta actual de beneficio de ganado ubicada bajo las coordenadas: N1061287 E892793, la cual vierte sus aguas a la Quebrada el Truco.

En la proyección de disminución de puntos de vertimiento se reducirán paulatinamente hasta el año 2013 en el cual se plantea la construcción de la PTAR, así que desde el año 2014 el municipio contaría con un solo punto de vertimiento el cual es la PTAR.

Los afluentes receptores de las aguas residuales provenientes del casco urbano del Municipio de Fresno son: Quebrada Nicua, Quebrada Hospital y Quebrada Barrio Caldas, la cual vierte finalmente sobre la fuente hídrica denominada Rio Sucio.

A continuación se muestra los valores Percapita hallados para el municipio de Fresno teniendo en cuenta que estos fueron establecidos por los respectivos monitoreos y análisis de los resultados de estos:

Valores Percapita Municipio de Fresno Tolima	
DBO5 (mg/L)	204.35
SST (mg/L)	138.11
Caudal Medio (Lt/hab/día)	200
Carga Percapita DBO5 (Kg/hab/día)	0.0409
Carga Percapita SST (Kg/hab/día)	0.0276

Tabla 34. Valores Percapita Fresno Tolima.
(Fuente Cortolima – 2015)

Se llevó a cabo el cálculo de la carga contaminante de DBO₅ y SST totales aportadas por el municipio de Fresno, en el cual se proyectó la población teniendo en cuenta la población del año 2005 establecida por el DANE y de acuerdo a esta se aplicaron los métodos de proyección Aritmético, geométrico y exponencial establecidos por el RAS 2000.

El cálculo de proyección de carga contaminante se realiza de la siguiente forma:

$$(PP * Población * 365) / (1000)$$

Dónde:

PP= Carga Percapita (Tener en cuenta que para la proyección e municipio tomo un valor percapita promedio de DBO=0.0409 Kg/hab/día, SST=0.0276 Kg/hab/día.

Población= Población proyectada para el municipio de Fresno al año correspondiente de la proyección.

Las etapas de desarrollo del PSMV comprenden las siguientes obras y actividades, para los plazos establecidos a Corto (2 años), Mediano (5 años) y Largo Plazo (10 años), así:

Zona Urbana

- **Corto plazo (2009-2010):** Adelantar al 100% la actividad de Adecuación de la planta de potabilización, 20% en Actualización y Monitoreo periódica de los vertimientos y 20% en Monitoreo periódico del cuerpo receptor.
- **Mediano plazo (2009-2013):** Adelantar al 37.5% la actividad de Construcción y optimización de redes de alcantarillado en la zona urbana (ampliación de cobertura, construcción aliviaderos y estaciones de bombeo), 50% en Actualización y Monitoreo periódica de los vertimientos y Monitoreo periódico del cuerpo receptor.
- **Largo plazo (2009-2018):** Completar las siguientes actividades al 100%: Construcción y optimización de redes de alcantarillado en la zona urbana (ampliación de cobertura, construcción aliviaderos y estaciones de bombeo), Construcción de la PTAR del casco urbano de Fresno (incluye colectores, Actualización y Monitoreo periódico de los vertimientos y Monitoreo periódico del cuerpo receptor.

Hasta el año 2014 se cuenta con un avance del 26.32% de las actividades propuestas para la reducción de cargas contaminantes. Sin embargo no se cuenta con sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para el municipio.

Inicialmente se presentaron 10 vertimientos en el municipio, los cuales se presentan en la Tabla 35 como se muestra a continuación.

VERTIMIENTO	COORDENADAS		FUENTE RECEPTORA
	N	E	
1.Hospital (Eliminado)	0893938	1061482	Q. Nicua
2. Villa del Prado	0894067	1061418	Q. Nicua
3. Cementerio	5.15364°	75.02891°	Q. Nicua
4. Barrio las Chapoleras			Q. Nicua
5. Barrio San Luis	5.14988°	75.02485°	Q. Nicua
6. Plaza de Ferias	0893887	1061648	Q. Nicua
7 y 8. Subestación Eléctrica	5.15394°	75.0351°	Q. Nicua
9. Antiguo Matadero	894020	1061814	Q. Nicua
10. El Barrio San Pedro	894017	1061928	Q. Nicua

Tabla 35. Vertimientos Reportados PSMV FRESNO TOLIMA.

(Fuente Cortolima – 2015)

Con base en lo que se encontró en campo, y lo descrito en el numeral 2.2.5 Municipio de Fresno, se tienen trece (13) puntos de vertimientos para el municipio los cuales son comparados con los reportados en el PSMV, tal como se muestra en la Tabla 36.

Descripción		Este	Norte	Caudal (l/s)	Fuente Receptora	Observación*
V1	Hospital (Eliminado)	893938,00	1061482,00		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y no se encontró en campo.
V2	Villa del Prado	894067,00	1061418,00		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y no se encontró en campo.
V3	Cementerio	894510,78	1061721,51		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector Cementerio - coordenadas X 894539,384 Y 1061693,202
V4	Barrio las Chapoleras			1.833	Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo

						con el nombre de: Vertimiento Las Chapoleras - coordenadas X 894665,489 Y 1061362,755
V5	Barrio San Luis	894960,49	1061305,17		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector Barrio San Luis - coordenadas X 894984,754 Y 1061673,492
V6	Plaza de ferias	893887,00	1061648,00	9,235	Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector Plaza de Ferias - coordenadas X 893934,028 Y 1061632,049
V7	Subestación Eléctrica	893824,56	1061755,72		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector Subestación eléctrica - coordenadas X 894005,344 Y 1061740,698
V8	Subestación Eléctrica	893824,56	1061755,72		Rio Nicua	Vertimiento Repetido en el PSMV.
V9	Antiguo Matadero	894020,00	1061814,00		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector antiguo Matadero - coordenadas X 894032,874 Y 1061817,461
V10	El Barrio San Pedro	894017,00	1061928,00		Rio Nicua	Vertimiento reportado en el PSMV y se encontró en campo con el nombre de: Vertimiento sector Barrio San Pedro - coordenadas X 894005,344 Y 1061740,698
V11	sector Barrio San Pedro-El Chupo	894002,316	1061980,33		Q. Nicua	Vertimiento nuevo encontrado en campo.

V12	sector Estadio	894168,242	1061709,73		Q. Nicua	Vertimiento encontrado en campo.	nuevo en
V13	sector Barrio Caldas	893689,023	1062366,36		Q. Nicua	Vertimiento encontrado en campo.	nuevo en
V14	calle Nuevo Horizonte sector Buñueleros	893929,413	1061635,43		Q. Nicua	Vertimiento encontrado en campo.	nuevo en
V15	casas plaza de Ferias	893937,106	1061630,20 1		Q. Nicua	Vertimiento encontrado en campo.	nuevo en
V16	sector Antiguo Matadero calle 6	893992,739	1061756,07		Q. Nicua	Vertimiento encontrado en campo.	nuevo en

Tabla 36. Comparación Vertimientos PSMV y Vertimientos Actuales – Municipio de Fresno Tolima.
(Fuente Cortolima – 2015)

3.2 Cargas vertidas por cada municipio a fuentes de agua

Las cargas vertidas por cada uno de los municipios en estudio, serán calculadas por medio de caracterizaciones llevadas a cabo por CORTOLIMA, en el proceso del establecimiento de la Línea Base para la implementación de metas de reducción de carga contaminante para los municipios del departamento del Tolima. (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA, 2016), las cuales se presentan en el Anexo 2. No obstante cada una de estas son evaluadas y se determina si corresponden a valores propios de aguas residuales, o si por el contrario se opta por la estimación mediante valores tipo según la literatura.

Aunado a lo anteriormente expuesto se estima el caudal de vertimientos promedio de cada uno de los municipios, teniendo en cuenta los valores que se reportaron por las visitas realizadas a campo, descritos en el numeral 2.2 Antecedentes, y serán contrastados con los encontrados según la dotación máxima de agua potable para clima cálido y templado, además del nivel de complejidad según el documento RAS 2000 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, 2000). A continuación se muestra la manera como se realizó el cálculo de las cargas contaminantes para los municipios en estudio.

Conforme a la información que fue reportada por las empresas administradoras del servicio de acueducto y alcantarillado acorde a los porcentajes de cobertura de los puntos de vertimiento, el caudal medido en campo fue escalado al 100% para obtener un dato sobre la totalidad del caudal que vierte el municipio.

Este cálculo se llevó a cabo mediante la Ecuación 1, en la que se divide el caudal obtenido en campo por el porcentaje de cobertura de este y se escala al 100%.

$$Q \text{ Total Vertido} = \frac{Q \text{ Aforado} * 100\%}{\% \text{ Cobertura Vertimiento}}$$

Ecuación 1. Cálculo del Caudal Vertido por Municipio.

Acorde a los datos suministrados en campo por las empresas de servicios públicos, se estima el caudal teórico vertido por el municipio, el cual es contrastado con el caudal total vertido. El número de usuarios es obtenido en campo según los datos que reportan las empresas públicas y/o las alcaldías municipales.

Este último caudal se calcula teniendo en cuenta la Ecuación 2:

$$Q \text{ Total Teorico} = \# \text{ Usuarios} * \# \text{ personas por Unidad Habitacional} * \text{ Factor de Retorno}$$

Ecuación 2. Cálculo Caudal Teórico por Municipio

Así mismo, el número de personas por unidad habitacional se extrae de los boletines del censo 2005, llevado a cabo por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE. Este valor se aproxima a la unidad superior para efectos de cálculos; es decir si se estima un valor para el número de personas por hogar de 3.2 por parte del DANE, se aproxima a la unidad siguiente que para este caso es 4. Los boletines del censo 2005 para los municipios en estudio se muestran en el anexo 3.

Con el número de usuarios y la cantidad de personas por unidad habitacional se estima el número de personas servidas de la cabecera municipal, lo que indica el nivel de complejidad en que se ubica el municipio, lo que permite estimar la dotación de agua potable por usuario. Eso se basa en lo descrito en el documento RAS 2000 títulos A y B, Aspectos generales y sistemas de acueducto, específicamente para las tablas A.3.1, y el título II en su artículo 67 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, 2000), además de la Resolución 2320 del 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009), que modifica en parte el documento RAS 2000.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas : (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.
(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Figura 12. Asignación del nivel de complejidad.

(Fuente RAS 2000)

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab.día)	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (L/hab.día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Figura 13. Dotación según nivel de complejidad.

(Fuente RAS 2000)

Esto se multiplica por el factor de retorno de aguas residuales, que para este caso se estima en el 80% (0.8) de las aguas consumidas, según lo que se indica en la tabla D.3.1 del RAS 2000, tal como se muestra a continuación:

TABLA D.3.1

Coefficiente de retorno de aguas servidas domésticas

Nivel de complejidad del sistema	Coefficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto *	0,8 - 0,85

Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

Figura 14. Coeficiente de retorno.

(Fuente RAS 2000)

Como se mencionó anteriormente, el caudal teórico se contrasta con el hallado en campo, para lo cual se promedia en los casos que no difieran demasiado y presenten coherencia entre estos.

En los casos que difieren demasiado los caudales que se encontraron en campo con los hallados teóricamente, se asume como base de cálculo para la carga contaminante, el estimado mediante datos reportados por las empresas de servicios públicos y corregidos por el RAS, tal como se expresó en la Ecuación 2.

Una vez se estima el caudal de vertimiento, se procede a calcular la carga contaminante basada en los resultados de las caracterizaciones y muestreos realizados por el laboratorio de CORCUENCAS sobre los puntos de vertimientos más representativos.

Se identifican los valores de los parámetros de DBO₅ y SST, los cuales son utilizados para calcular las metas de reducción de cargas contaminantes, ya que estos son los que se encuentran sujetos a cobro por tasas retributivas. Dichos valores son referenciados de los resultados del laboratorio que se compilan en el anexo 2.

Cabe aclarar que para el planteamiento del esquema de tratamiento, se tendrán en cuenta los valores reportados por CORTOLIMA, los cuales son caracterizados para muestras compuestas durante cuatro (4) únicamente, lo cual muestra un valor aproximado para la concentración promedio de estos parámetros.

Se presentan casos en que los resultados de las caracterizaciones no obedecen técnicamente a los valores propios de aguas residuales domésticas, por lo tanto se presume una dilución alta por combinación de aguas lluvias y de infiltraciones. Para este caso se toma como referencia los valores reportados en la literatura por Metcalf & Eddy, (Metcalf & Eddy, 1991), como se muestra a continuación en la Figura 15:

Parámetro	Concentración mg L ⁻¹		
	ARU Débil	ARU Media	ARU Fuerte
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	350	720	1200
Disueltos totales	250	500	850
Sólidos en suspensión	100	220	350
Sólidos sedimentables	5	10	20
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	100	200	300
COT (mg L ⁻¹)	80	160	290
DQO (mg L ⁻¹)	250	500	1000
Nitrógeno total (N) (mg L ⁻¹)	20	40	85
orgánico	8	15	35
amoníaco libre	12	25	50
nitritos	0	0	0
nitratos	0	0	0
Fósforo total (P) (mg L ⁻¹)	4	8	15
orgánico	1	3	5
inorgánico	3	5	10
oxígeno disuelto	0,2	0,1	0
cloruros (mg L ⁻¹)	30	50	100
sulfato (mg L ⁻¹)	20	30	50
alcalinidad (CaCO ₃)	50	100	200
aceites y grasas (mg L ⁻¹)	50	100	150
coliformes totales NMP	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
COVs (µg L ⁻¹)	< 100	100 - 400	> 400

Figura 15. Valores Composición Típica Agua Residual Doméstica.

En ese orden de ideas se procedió a calcular la carga contaminante vertida por el municipio, utilizando el caudal estimado, la concentración hallada o descrita en la literatura. Para el cálculo utilizaremos la ecuación descrita en el capítulo 1 del Decreto 2667 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012), como se muestra a continuación:

$$\text{CARGA CONTAMINANTE} = Q * [] * 0.0864 * t$$

Ecuación 3. Cálculo de la Carga Contaminante.

Donde

CARGA: Kg/d

Q: Caudal (L/s)

[]: Concentración (mg/L)

0.0864: Factor de Conversión a kg/d

t: tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Lo que respecta al tiempo de vertimiento de los usuarios, se estima un vertimiento de 24 horas al día, con el fin de obtener un valor promedio sin tener en cuenta los picos de vertimientos que se generan en horas de mayor consumo. Además de esto no se cuenta con muestreos ni los aforos de vertimientos en el tiempo estimado de 24 horas que indiquen valores certeros sobre los caudales promedio diarios. Con base en esto el valor de t, descrito en la Ecuación 3 se aproxima a la unidad.

De tal manera como se calcula la carga contaminante vertida por cada uno de los municipios, se estima la carga estipulada por medio de la Resolución 631 de 2015, acorde a los límites máximos permisibles establecidos por esta normatividad, de lo cual se puede tener un estimado de la carga a reducir para el cumplimiento de esta.

La Ecuación 4 muestra el cálculo de la carga por medio de la Resolución 631, como se muestra a continuación:

$$\text{CARGA CONTAMINANTE RES 631} = Q * [] * 0.0864$$

Ecuación 4. Cálculo Carga Contaminante Resolución 631 de 2015

Donde

CARGA₆₃₁: Carga establecida por la Resolución 631 (Kg/d)

Q: Caudal Municipio (L/s)

[]: Concentración Máxima permisible Resolución 631 (mg/L)

0.0864: Factor de Conversión a kg/d

Los valores de concentración para el cálculo de la carga contaminantes según la Resolución 631 de 2015, se muestran en el capítulo 5, Artículo 8 de dicha Resolución, en la que se establecen los “**parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas- ARD, de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales** (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)”

La Figura 16 muestra los valores límites máximos permisibles estipulados por la norma, específicamente los reportados para Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), los cuales utilizaremos como punto

de referencia para el cálculo de la carga máxima de vertimiento según la resolución 631 de 2016.

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – ARD,	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – ARD,
		AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGLUAL A 3.000,00 Kg/día BBO ₅	AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 Kg/día BBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	80,00	70,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	m/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Ferídicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PQ ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrosos (N-NO ₂)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amomiacal (N-NH ₄)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones			
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,02
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L		Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,50
Otros Parámetros para Análisis y Reporte			
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 820 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Figura 16. Parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles – Artículo 8 Resolución 631 de 2015

A continuación se calculan las cargas contaminantes vertidas por cada municipio y se realiza un estimativo de la carga a verter según la Resolución 631 de 2015, lo cual muestra el comparativo entre lo vertido y a lo que se debe llegar conforme a la norma.

3.2.1 CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE HERVEO

MUNICIPIO DE HERVEO		
PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal Aforado (L/s)	2.01	2.2.1 MUNICIPIO DE HERVEO
% Cobertura de Vertimiento	60	2.2.1 MUNICIPIO DE HERVEO
Caudal Estimado por Cobertura (L/s)	3.4	Ecuación 1
Número de Usuarios de Acueducto	782	2.2.1 MUNICIPIO DE HERVEO
Habitantes por Unidad Habitacional	4	Boletín DANE
Total Usuarios a Servir	3128	Calculado
Complejidad	MEDIA	Figura 12
Clima	Frio	Estimado Teórico
Dotación (L/Hab-Dia)	115	Figura 13
Factor de Retorno	0.8	Figura 14
Caudal Estimado por Población (L/s)	3.3	Ecuación 2
Caudal Cálculo Carga Contaminante	3.3	Se adopta el promedio entre Caudal aforado y estimado por población
Concentración Campo DBO ₅ (mg/L)	492	Caracterizaciones
Concentración Campo SST (mg/L)	355	CORTOLIMA
CARGA VERTIDA MUNICIPIO		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	142	
CARGA SST (Kg/d)	102.46	
Concentración Resolución 631 de 2015 DBO ₅ (mg/L)	90	Figura 16
Concentración Resolución 631 de 2015 SST (mg/L)	90	Figura 16
CARGA RESOLUCIÓN 631 de 2015		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	25.97	
CARGA SST (Kg/d)	25.97	

3.2.2 CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE CASABIANCA

MUNICIPIO DE CASABIANCA		
PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal Aforado (L/s)	1.71	2.2.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA
% Cobertura de Vertimiento	70	2.2.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA

Caudal Estimado por Cobertura (L/s)	2.44	Ecuación 1
Número de Usuarios de Acueducto	613	2.2.2 MUNICIPIO DE CASABIANCA
Habitantes por Unidad Habitacional	4	Boletín DANE
Total Usuarios a Servir	2452	Calculado
Complejidad	BAJA	Figura 12
Clima	Frio	Estimado Teórico
Dotación (L/Hab-Dia)	90	Figura 13
Factor de Retorno	0.8	Figura 14
Caudal Estimado por Población (L/s)	2.04	Ecuación 2
Caudal Cálculo Carga Contaminante	2.24	Se adopta el promedio entre Caudal aforado y estimado por población
Concentración Campo DBO ₅ (mg/L)	227	Caracterizaciones CORTOLIMA
Concentración Campo SST (mg/L)	134	
CARGA VERTIDA MUNICIPIO		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	43.99	
CARGA SST (Kg/d)	25.97	
Concentración Resolución 631 de 2015 DBO ₅ (mg/L)	90	Figura 16
Concentración Resolución 631 de 2015 SST (mg/L)	90	Figura 16
CARGA RESOLUCIÓN 631 de 2015		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	17.44	
CARGA SST (Kg/d)	17.44	

3.2.3 CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE PALOCABILDO MUNICIPIO DE PALOCABILDO

PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal Aforado (L/s)	35.7	2.2.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO
% Cobertura de Vertimiento	94	2.2.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO
Caudal Estimado por Cobertura (L/s)	37.9	Ecuación 1
Número de Usuarios de Acueducto	788	2.2.3 MUNICIPIO DE PALOCABILDO
Habitantes por Unidad Habitacional	4	Boletín DANE
Total Usuarios a Servir	3152	Calculado
Complejidad	MEDIA	Figura 12
Clima	Frio	Estimado Teórico
Dotación (L/Hab-Dia)	115	Figura 13
Factor de Retorno	0.8	Figura 14
Caudal Estimado por Población (L/s)	3.35	Ecuación 2

Caudal Cálculo Carga Contaminante	3.35	Se adopta el Caudal estimado por población
Concentración Campo DBO ₅ (mg/L)	200	Valores teóricos Figura 15
Concentración Campo SST (mg/L)	220	
CARGA VERTIDA MUNICIPIO		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	58	
CARGA SST (Kg/d)	63.8	
Concentración Resolución 631 de 2015 DBO ₅ (mg/L)	90	Figura 16
Concentración Resolución 631 de 2015 SST (mg/L)	90	Figura 16
CARGA RESOLUCIÓN 631 de 2015		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	26.1	
CARGA SST (Kg/d)	26.1	

3.2.4 CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE FALAN

MUNICIPIO DE FALAN		
PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal Aforado (L/s)	4.38	2.2.4 MUNICIPIO DE FALAN
% Cobertura de Vertimiento	80	2.2.4 MUNICIPIO DE FALAN
Caudal Estimado por Cobertura (L/s)	5.5	Ecuación 1
Número de Usuarios de Acueducto	600	2.2.4 MUNICIPIO DE FALAN
Habitantes por Unidad Habitacional	4	Boletín DANE
Total Usuarios a Servir	2400	Calculado
Complejidad	BAJA	Figura 12
Clima	Cálido	Estimado Teórico
Dotación (L/Hab-Día)	100	Figura 13
Factor de Retorno	0.8	Figura 14
Caudal Estimado por Población (L/s)	2.2	Ecuación 2
Caudal Cálculo Carga Contaminante	2.2	Se adopta el Caudal estimado por población
Concentración Campo DBO ₅ (mg/L)	157	Caracterizaciones CORTOLIMA
Concentración Campo SST (mg/L)	160	
CARGA VERTIDA MUNICIPIO		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	30.14	
CARGA SST (Kg/d)	30.72	
Concentración Resolución 631 de 2015 DBO ₅ (mg/L)	90	Figura 16

Concentración Resolución 631 de 2015 SST (mg/L)	90	Figura 16
CARGA RESOLUCIÓN 631 de 2015		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	17.28	
CARGA SST (Kg/d)	17.28	

3.2.5 CARGA CONTAMINANTE VERTIDA MUNICIPIO DE FRESNO

MUNICIPIO DE FRESNO		
PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Caudal Aforado (L/s)	11.07	2.2.5 MUNICIPIO DE FRESNO
% Cobertura de Vertimiento	70	2.2.5 MUNICIPIO DE FRESNO
Caudal Estimado por Cobertura (L/s)	15.8	Ecuación 1
Número de Usuarios de Acueducto	3755	2.2.5 MUNICIPIO DE FRESNO
Habitantes por Unidad Habitacional	4	Boletín DANE
Total Usuarios a Servir	15020	Calculado
Complejidad	MEDIA ALTA	Figura 12
Clima	Frio	Estimado Teórico
Dotación (L/Hab-Dia)	125	Figura 13
Factor de Retorno	0.8	Figura 14
Caudal Estimado por Población (L/s)	17.4	Ecuación 2
Caudal Cálculo Carga Contaminante	16.6	Se adopta el promedio entre Caudal aforado y estimado por población
Concentración Campo DBO ₅ (mg/L)	294	Caracterizaciones CORTOLIMA
Concentración Campo SST (mg/L)	214	
CARGA VERTIDA MUNICIPIO		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	421.6	
CARGA SST (Kg/d)	306.9	
Concentración Resolución 631 de 2015 DBO ₅ (mg/L)	90	Figura 16
Concentración Resolución 631 de 2015 SST (mg/L)	90	Figura 16
CARGA RESOLUCIÓN 631 de 2015		
CARGA DBO₅ (Kg/d)	129.06	
CARGA SST (Kg/d)	129.06	

A continuación se presenta el resumen de las cargas contaminantes vertidas por cada municipio y las cargas exigidas por la resolución 631 de 2015, para los municipios en estudio, correspondientes al año 2015.

Municipio	Población Cabecera Municipal	Usuarios Cabecera Municipal	Carga Vertida Kg/d		PTAR	Carga Res 631-2015 Kg/d	
			DBO ₅	SST		DBO ₅	SST
Herveo	3128	782	142	102.46	No posee	25.97	25.97
Casabianca	2452	613	43.99	25.97	No Funciona	17.44	17.44
Palocabildo	3152	788	58	63.8	No posee	26.1	26.1
Falan	2400	600	30.14	30.72	No posee	17.28	17.28
Fresno	15020	3755	421.6	306.9	No posee	129.06	129.06

Tabla 37. Resumen de cargas contaminantes vertidas por los municipios en estudio.

4 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES POSIBLES.

La contaminación de las fuentes de agua superficiales debido a los vertimientos de los sistemas de alcantarillados municipales y en general de las aguas residuales domésticas sin tratamiento previo, es conocida por la totalidad de la población que alguna vez ha estado cerca de estas fuentes hídricas que cruzan aledaños a los centros poblados.

Los municipios en estudio presentan en su totalidad limitantes para la implementación de obras de tratamiento para las aguas residuales domésticas, las cuales se resumen a continuación:

- Los municipios no poseen el catastro de redes de alcantarillado de aguas residuales debidamente actualizado, por lo tanto no se tienen los datos de la cantidad de habitantes que vierten sobre un sector determinado. Además de esto no se conoce el estado actual de dichas redes.
- Todos los alcantarillados que se encontraron son de tipo combinado, lo que implica la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas lluvias. Esto conlleva a la toma de medidas extras para garantizar que el caudal con el cual se diseñan los sistemas de tratamiento, no se sobrepasen en eventos de lluvia y pueda desestabilizar el funcionamiento de este.
- Conforme a que los municipios estudiados son de alta montaña, presentan áreas reducidas para la implementación de sistemas de tratamiento que requieran grandes extensiones de tierra como lagunas o zanjones de oxidación. Esto implica implementar tecnologías que requieran menos área y que puedan cumplir con lo estipulado en la norma. Sumado a esto, se presentan inconvenientes en cuanto a la ubicación de los mismos, debido a que son zonas propensas a deslizamientos de tierra y movimientos en masa.
- En la totalidad de los municipios que fueron estudiados, se presentan varias vertientes o cauces, por lo que se hace necesario la implementación de varios sistemas de tratamiento, con el fin de abarcar la totalidad de los puntos de vertimientos aislados. Otra opción es la implementación de sistemas de bombeo para conducir el agua hasta un punto determinado, presentando como mayor desventaja los posibles cortes prolongados de energía y por ende contaminación directa del recurso, sobre costos por la energía utilizada y mantenimiento de dichas estaciones de bombeo. De otro lado la implementación de interceptores podría transportar el agua hasta puntos específicos de tratamiento; no obstante los sistemas de tratamiento para mayores volúmenes de agua, demanda una tecnología más especializada y de mayor complejidad, lo cual se analizará más adelante.
- Debido a que todos los municipios que hacen parte del estudio de caso, se encuentran alejados de los centros de tecnología, recursos técnicos

(capitales) y personal calificado constante en el área de influencia, se hace necesario la implementación de sistemas de tratamiento, amigables y sencillos cuya operación y pueda efectuarse con personal que cuente solo con conocimientos básicos del tema.

- Ninguno de los municipios estudiados poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, de tal forma que se pueda obtener información de primera mano sobre funcionamiento, eficiencias y posibles problemas, así como necesidad de capacitación de personal para su óptima operación. Esto con excepción del municipio de Casabianca, que posee un sistema de tratamiento, sin embargo no se encontró en funcionamiento y con altas señales de abandono.

En los numerales siguientes se analizarán diferentes alternativas, con el objetivo de plantear algunas que se ajusten a las necesidades que se identifican en cada uno de los municipios ubicados en la cuenca alta del Río Gualí, en el departamento del Tolima.

4.1 Análisis de alternativas de tratamiento para los municipios bajo estudio.

En la actualidad los municipios del país presentan problemas de contaminación hídrica por vertimientos de aguas residuales domésticas, por falta de sistemas de tratamiento de estas, que en últimas no son prioridad en la mayoría de las administraciones municipales y planes de gobierno de los mandatarios de turno.

Según lo reportado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2013) de los 1123 municipios con que cuenta el país, solamente 480 municipios realizaron algún tipo de tratamiento para el agua residual doméstica, lo que equivale al 43.5% del total de estos, presentando 583 sistemas de tratamiento, de los cuales 83 se encuentran fuera de operación y 13 más se encuentran en construcción y próximos a operar.

Para los municipios en estudio, se analizan las posibles alternativas de tratamiento para las aguas residuales domésticas, en cuanto a sistemas descentralizados o por puntos de vertimientos aislados, y por otro lado sistemas de tratamiento más grandes, los cuales recojan en su gran mayoría las aguas vertidas en los municipios, teniendo en cuenta que en todos los municipios se cuenta con dos o más vertientes.

Tal como se analiza en el documento Evaluación Económica de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Guadalajara de Buga (Gloria Stefany Maca Millan, 2014), se establece que los nuevos enfoques buscan que el recurso hídrico sea analizado desde un punto de vista holístico, donde se garantice el uso eficiente del agua, y para este caso el tratamiento de las aguas residuales, lo más cerca posible del origen de estas, a lo que se llama sistemas

descentralizados. Para este caso se encuentran ventajas tales como el re uso de las aguas residuales, mayor capacidad para el tratamiento, así como menores costos de recolección y transporte del alcantarillado, que en el caso de sistemas muy largos son propensos a infiltraciones. Sumado a esto los volúmenes de agua vertidos son menores por lo que pueden generar menor impacto por las descargas de los efluentes a los cuerpos de agua.

En este documento Maca Millán (2014), describe los tipos de tratamientos descentralizados, “*como tratamiento individual, Clúster, Grandes Bloques y sistemas semi centralizados o satélites*”. Los tratamientos individuales son aquellos que tratan las aguas residuales provenientes de viviendas individuales, los clúster reciben o recogen las aguas residuales de varias viviendas, los grandes bloques son los que tratan el agua proveniente de edificios, escuelas, universidades entre otras, y los semi centralizados son sistemas satélites que pueden integrarse a algún sistema centralizado.

Maca Millán (2014) hace alusión a lo descrito por Pinkham *et al* (2004) que muestra las ventajas de aquellos sistemas que se denominan descentralizados, los cuales tienen en cuenta seis (6) consideraciones que se muestran a continuación:

1. Planificación Financiera y de riesgos financieros: En este punto se hace hincapié sobre la facilidad de adaptar un sistema pequeño al crecimiento de la demanda, lo que disminuye los problemas por sobredimensionamiento de las PTAR “*trasladando los costos de capacidad al futuro, obteniendo un valor presente neto menor*”. Sumado a esto se indica que al no cumplirse con las expectativas de crecimiento de la población, no se incurre en sobredimensionamientos, además de que el tamaño es menor por lo que el tiempo de construcción y administración de los recursos no tendrían que esperar mucho tiempo.

2. Impactos en la comunidad y la cuenca: Para este ítem se muestra que un sistema de tratamiento de aguas residuales sin una planificación que sea adecuada, puede llegar a un crecimiento desorganizado y generando costos mayores.

3. Repercusiones en el lugar y barrio: En este punto se muestra el problema del manejo de olores, y ruido, que si bien es inherente a estos los sistemas de tratamiento, son más fáciles de controlar si es un sistema a menor escala que uno muy grande que abarque más área y mayor cantidad de agua residual a tratar.

4. Costos de capital, operación y mantenimiento: Se indica que los sistemas de tratamiento descentralizados tienen la ventaja de evitar las deseconomías de escala, las cuales son inherentes a las PTAR y sistemas de alcantarillado.

Una deseconomía de escala indica que el aumento del coste por unidad de cada servicio a medida que aumenta la producción del mismo. Así pues, es claro que una deseconomía de escala en una red de alcantarillado significa que a medida

que crece la población y por ende el servicio de alcantarillado, el costo unitario de este aumenta.

5. Gestión: En cuanto a la gestión de los recursos económicos, Maca Millán (2014) retoma lo que describe Massound *et al* (2009), donde se indica que de los componentes básicos del tratamiento, como lo son la recolección, tratamiento y disposición final, el primero es el que menos importa en cuanto a la calidad del efluente, sin embargo es el que acarrea el 60% de los costos aproximadamente, por lo que por medio de sistemas descentralizados, el alcantarillado es de menor diámetro y longitud, lo que disminuye drásticamente los costos asociados a la construcción de los sistemas de tratamiento.

6. Fiabilidad, vulnerabilidad y resistencia: Se presentan ventajas de los sistemas de tratamiento descentralizados frente a los sistemas centralizados, la distribución del riesgo en cuanto a que las posibles fallas de un sistema pequeño, no tiene como consecuencia efectos graves para todo el sistema como ocurre en sistemas convencionales.

Con base en lo anterior y observando las ventajas de tipo operativo que presentan los sistemas de tratamiento descentralizados, aunado a la adaptabilidad que poseen estos en cuanto al crecimiento de la población e incluso al estancamiento de la misma, los impactos con a los alrededores y los costos de inversión y mantenimiento, permite dimensionar este tipo de sistemas se constituye en una buena opción para el tratamiento de puntos de vertimientos aislados.

Además si ponemos en consideración los costos que traen consigo la implementación de colectores e interceptores, asociados a los diámetros que llevan consigo el transporte de grandes cantidades de agua, la implementación de sistemas descentralizados se considera una opción técnicamente viable.

Teniendo en cuenta lo descrito se planteará un esquema de tratamiento basándose en uno de los casos que fueron encontrados en los municipios en estudio, de tal forma que se logre extrapolar a los demás puntos de vertimientos identificados, específicamente el punto encontrado en el municipio de Fresno, denominado Barrio Caldas, el cual descola sus aguas sin tratamiento previo sobre una fuente hídrica que tributa hacia la Quebrada Rio Sucio, la cual aguas abajo hace parte de la red hídrica que surte de agua para consumo humano el municipio vecino de San Sebastián de Mariquita.

A continuación se retoma la información recopilada en el numeral 2.2 Generalidades de los municipios seleccionados., en la que se muestra los vertimientos encontrados en cada municipio y los caudales aforados. Así mismo y teniendo en cuenta las imágenes que ubican los puntos de vertimientos, se propondrán las soluciones para los puntos de vertimientos y los caudales estimados en cada uno de estos.

Antes de plantear los sistemas de tratamiento, proyectaremos las poblaciones de las cabeceras municipales de los municipios en estudio, acorde a lo establecido en el documento Guía RAS- 001 (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2003),

del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, conforme a que el DANE (Departamento Nacional de Estadística), reporta proyecciones hasta el año 2020 únicamente.

La Guía RAS- 001 establece la asignación del nivel de complejidad y los periodos de diseño para estudios de planes maestros de acueducto y alcantarillado, tal como se muestra a continuación.

La Figura 17 muestra la tabla A.3.1 de la Guía Ras-001 -Asignación del Nivel de Complejidad, la cual está enfocada al periodo de diseño, por lo tanto será tenida en cuenta cuando se calcule la población futura.

TABLA A.3.1
ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

Figura 17. Asignación del nivel de complejidad – Guía RAS-001

La Figura 18 muestra la tabla 3 de la Guía Ras-001, en la que se indica el periodo de diseño para los estudios de planes maestros de acueducto y alcantarillado, en los que se incluye el componente de tratamiento de aguas residuales.

La Guía Ras-001 indica además los métodos para estimar la población futura, así como se muestra en el la Figura 19, la muestra la tabla B.2.1 de la Guía Ras-001 en la que se presentan los métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad de cada sistema, por lo que teniendo en cuenta los niveles de complejidad actuales encontrados en los municipios que se visitaron, se opta por usar el método geométrico para el cálculo de las poblaciones futuras.

Este método de cálculo abarca los tres niveles de complejidad bajo, medio y medio alto, por lo que cumple con lo estipulado técnicamente en la guía.

TABLA 3
PERÍODOS DE DISEÑO PARA ESTUDIOS DE PLANES MAESTROS
DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Nivel de complejidad del sistema	Planes maestros y diseños conceptuales	
	Acueducto ⁽¹⁾	Alcantarillado ⁽²⁾
Bajo	15 años	15 años
Medio	20 años	20 años
Medio alto	25 años	25 años
Alto	30 años	30 años

(1) Incluye componente de potabilización

(2) Incluye componente de tratamiento de aguas residuales

Figura 18. Periodos de diseño – Guía RAS - 001

TABLA B.2.1
MÉTODOS DE CÁLCULO PERMITIDOS SEGÚN EL NIVEL
DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappaus	X	X	X	X
Gráfico	X ⁽¹⁾	X	X	
Exponencial	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽²⁾	
Detallar por zonas			X	X
Detallar densidades			X	X

Figura 19. Método de cálculo de población según el nivel de complejidad

El método Geométrico se ejecuta de acuerdo a la Ecuación 5 y Ecuación 6

$$P_f = P_{UC} * (1 + r)^{T_f + T_{uc}}$$

Ecuación 5. Calculo de la población futura- Método Geométrico.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

Ecuación 6. Calculo de r – Método Geométrico

Donde:

P_f: Población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc}: Población (habitantes) correspondiente al último año censado con información.

P_{ci}: Población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

T_{uc}: Año correspondiente al último año censo con información.

T_{ci}: Año correspondiente al censo inicial con información.

T_r: Año al cual se requiere proyectar la información.

El DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), en la página oficial web (DANE, 2016), presenta los censos correspondientes a los años 1993 y 2005, de los cuales se extraen los valores de población para los municipios en estudio, y se proyecta las poblaciones a 15, 20 y 25 años según la complejidad encontradas en los municipios, y reportados en el numeral 3.2 (Cargas vertidas por cada municipio a fuentes de agua). La Tabla 38 muestra la proyección de la población según el nivel de complejidad que se encontró para cada municipio.

MUNICIPIO	Población Censo 1993 Cabecera Municipal (Habitantes)	Población Censo 2005 Cabecera Municipal (Habitantes)	año a Proyectar Cabecera Municipal (Habitantes)	Población Proyectada Cabecera Municipal (Habitantes)
HERVEO	1363	2265	2035	8063
CASABIANCA	1498	1503	2030	1513
PALOCABILDO	2701*	2856*	2035	3020
FALAN	1688**	1625**	2030	1584
FRESNO	12787	14442	2040	20597

*se usaron los datos del DANE correspondientes a los años 2005 y 2020 (censado y proyectado) conforme a que Palocabildo se erigió como municipio en el año 1996.

** Se usaron los datos del DANE correspondientes a los años 2005 y 2020 (censado y proyectado) conforme a que inicialmente para el año 1993 se incorporaba la población perteneciente al actual municipio de Palocabildo.

Tabla 38. Población proyectada según nivel de complejidad- Municipios en estudio.

Teniendo como base la población proyectada, estimamos los caudales que se tendrían en cada uno de los vertimientos, para cada municipio, retomando lo que se encontró en campo y los porcentajes de cobertura de los mismos, tal como se mencionó anteriormente. A continuación se estiman los caudales acorde a la población proyectada para cada municipio de estudio, con base en los numerales 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 y 3.2.5, donde se muestran los valores con que se calcularon las cargas contaminantes vertidas por cada municipio.

Municipio HERVEO							
AÑO 2015				Año 2035			
Población Actual (habitantes)		3128		Población Proyectada (habitantes)		8063	
Complejidad		Media		Complejidad		Media	
Dotación (L/hab-Día)		115		Dotación (L/hab-Día)		115	
Caudal Municipio (Aforado)- (L/s)		3.3		Caudal Municipio (Estimado)-(L/s)		8.59	
Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)	Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)
La Ciega 1	34	1064	1.13	La Ciega 1	34	2741	2.92
La Ciega 2	26	813	0.88	La Ciega 2	26	2096	2.23
Antiguo Matadero							
El Perfume 1							
El Perfume 2							

Tabla 39. Población y caudales proyectados – Municipio de Herveo

Municipio Casabianca							
AÑO 2015				Año 2035			
Población Actual (habitantes)		2452		Población Proyectada (habitantes)		1513	
Complejidad		Baja		Complejidad		Baja	
Dotación (L/hab-Día)		90		Dotación (L/hab-Día)		90	
Caudal Municipio (Aforado)- (L/s)		2.44		Caudal Municipio (Estimado)-(L/s)		1.26	
Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)	Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)
PTAR 1	70	1716	1.71	PTAR 1	70	1059	0.88
PTAR 2	20	490	0.49	PTAR 2	20	303	0.25
Sector Divino Niño				Sector Divino Niño			
Sector Salida Palocabildo				Sector Salida Palocabildo			

Tabla 40. Población y caudales proyectados – Municipio de Casabianca.

Municipio Palocabildo							
AÑO 2015				Año 2035			
Población Actual (habitantes)		3152		Población Proyectada (habitantes)		3025	
Complejidad		Media		Complejidad		Media	
Dotación (L/hab-Día)		115		Dotación (L/hab-Día)		115	
Caudal Municipio (Aforado)- (L/s)		3.35		Caudal Municipio (Estimado)-(L/s)		3.22	
Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)	Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)
Barrio Fátima	90	2837	3.015	Barrio Fátima	90	2723	2.90
La Rivera	4	126	0.134	La Rivera	4	121	0.13
Pozo Séptico Las Brisas				Pozo Séptico Las Brisas			
Barrio Gualí				Barrio Gualí			

Tabla 41. Población y caudales proyectados – Municipio de Palocabildo

Municipio Falan							
AÑO 2015				Año 2035			
Población Actual (habitantes)		2400		Población Proyectada (habitantes)		1584	
Complejidad		Baja		Complejidad		Baja	
Dotación (L/hab-Día)		100		Dotación (L/hab-Día)		100	
Caudal Municipio (Aforado)- (L/s)		2.2		Caudal Municipio (Estimado)-(L/s)		1.47	
Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)	Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)
Calle Morales	29	696	0.638	Calle Morales	29	459	0.43
Calle Cordoba	51	1224	1.122	Calle Cordoba	51	808	0.75
Antiguo Matadero				Antiguo Matadero			

Tabla 42. Población y caudales proyectados – Municipio de Falan.

Es de notar que para los municipios de Casabianca, Palocabildo y Falan, los caudales que se proyectan así como las poblaciones asociadas a estos, son menores que los que se encontraron actualmente (año 2015), por lo cual se tomaran estos últimos como referencia para proponer los posibles sistemas de tratamiento a los puntos aislados de vertimientos.

Para los municipios de Herveo y Fresno, los valores tanto de población como de vertimientos, son mayores a los que fueron encontrados en la actualidad (año 2015).

Municipio Fresno							
AÑO 2015				Año 2035			
Población Actual (habitantes)		15020		Población Proyectada (habitantes)		20597	
Complejidad		Media Alta		Complejidad		Media Alta	
Dotación (L/hab-Día)		125		Dotación (L/hab-Día)		125	
Caudal Municipio (Aforado)- (L/s)		16.6		Caudal Municipio (Estimado)-(L/s)		23.84	
Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)	Vertimiento	% Cobertura	Población Servida Estimada	Caudal (L/s)
Sector Plaza de ferias hasta sector San Luis	70	10514	11.62	Sector Plaza de ferias hasta sector San Luis	70	14418	16.69
Sector Chapoleras	20	3004	3.32	Sector Chapoleras	20	4119	4.77
Barrio Caldas	10	1502	1.66	Barrio Caldas	10	2060	2.38

Tabla 43. Población y caudales proyectados – Municipio de Fresno

Tomando como referencia el documento denominado *Selección de Tecnologías Para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales – Guía de Apoyo Para Ciudades Pequeñas y Medianas* (Instituto de Ingeniería UNAM, 2013), en el que se indica que para la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, es más fácil la consecución de recursos económicos para la construcción o inversión inicial, que para los costos que acarrearán la operación y mantenimiento del mismo, tanto si se tiene en cuenta que los sistemas se proyectan para una vida útil de 20 años o más, por lo que es un factor primordial que debe analizarse con el fin que se mantenga la operación adecuada y cumpla las funciones para las cuales fueron construidas. Esto indica que la escogencia de las tecnologías de tratamiento, está asociada a aquellos que requieran menores costos de operación y mantenimiento, así como repuestos, arreglos y refacciones de las unidades o equipos que compongan el sistema. En este último caso se debe tener principal cuidado conforme a que son poblaciones distantes de las capitales y centros tecnológicos.

Así mismo el documento desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), hace hincapié sobre la necesidad de seleccionar, sobre todo en plantas de tratamiento pequeñas y medianas, procesos que requieran el mínimo de mano de obra para su operación y mantenimiento, sin que sean automatizados conforme a sus elevados costos y manejo especializado para esta labor. Por otro lado se debe tener especial cuidado con el personal que se requiere para la operación de los sistemas de tratamiento, para lo cual recomienda que se debe garantizar la permanencia del

personal técnico a lo largo del tiempo, sobre todo en lugares que no sea fácil conseguir personal calificado.

Por otro lado el Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domésticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes – SELTAR, desarrollado por el Instituto Cinara de la Universidad del Valle (Universidad del Valle- Instituto CINARA), muestra la recopilación de experiencias de diferentes autores y la caracterización de la oferta tecnológica, relacionando conceptos de sostenibilidad, producción más limpia, teoría general del sistemas, gestión integral del recurso hídrico e impacto en la salud y medio ambiente.

Este modelo propone esquemas tecnológicos definidos a partir del estudio de las alternativas existentes para el tratamiento de las aguas residuales domésticas con mayor potencial de aplicación en Colombia, tecnologías que se muestra a continuación:

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
Unidades Complementarias	Rejilla gruesa, Rejilla Fina, Desarenador, Tanque Séptico, Sedimentador Primario, Sedimentador Primario Alta Tasa, Sedimentador Secundario.
Sistemas de tratamiento convencionales	Lodos Activados (convencionales, mezcla completa y alimentación escalonada), Lodos Activados con Oxidación Total (aireación extendida y Zanjas de Oxidación), Lagunas, Filtro Anaerobio, Reactores UASB
Sistemas de tratamiento Naturales	Lagunas: Anaerobia, Facultativa, Maduración, Lagunas con macrófitas. Humedales: Flujo Libre, Flujo Subsuperficial. Tratamiento y Disposición en Terreno: Infiltración Lenta, Infiltración Rápida, Flujo Superficial, Filtro Intermitente de Arena, Sistema de Infiltración Subsuperficial.
Manejo de lodos	Espesamiento por Gravedad, Digestión anaerobia convencional, Digestión aerobia, Lechos de secado, Estabilización Alcalina, Lagunas de lodos.

Tabla 44. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas consideradas en la formulación de los esquemas tecnológicos - SELTAR

Una vez analizado lo anteriormente referido y tomando como punto de estudio el vertimiento denominado Barrio Caldas municipio de Fresno, se planteará para los puntos de vertimientos que fueron encontrados en los municipios sistemas de tratamiento conformados por tanques sépticos, filtros anaerobios de flujo ascendente y como opción final de pulimento, un humedal artificial, los cuales

técnicamente acogen las recomendaciones de personal técnico y operación que se mencionó anteriormente.

Jairo Romero Rojas en el libro Tratamiento de Aguas Residuales – Teoría y Principios de Diseño (Jairo Alberto Romero Rojas, 2004), muestra que para estimar la capacidad de los tanques sépticos, se cuenta con varias formas entre las que se tiene el caudal y población servida, o el caudal afluente y el tiempo de retención hidráulico entre otros. Entre los criterios que se usan, se encuentra el código británico (Ecuación 7) y el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos por sus siglas en inglés USPHS (United States Public Health Service), los cuales establecen las siguientes ecuaciones:

$$C = 0.18 * P + 2$$

Ecuación 7. Capacidad tanque séptico – Código Británico.

$$C = 1.5 * Q$$

Ecuación 8. Capacidad tanque séptico – USPHS (1)

$$C = 4.26 + 0.75 * Q_1$$

Ecuación 9. Capacidad tanque séptico – USPHS (2)

Donde:

C: Capacidad total del tanque séptico en m³

P: Población servida

Q: Caudal de aguas residuales, m³/día, para Q < 5.7 m³/d (0.017 L/s)

Q₁: Caudal de aguas residuales, m³/día, para Q₁: 5.7 a 380 m³/d. (0.017 a 4.39 L/s)

Conforme a que todos los caudales que se encontraron en los vertimientos de los municipios en estudio están por encima de 5.7 m³/d (0.017 L/s), se tendrá en cuenta para la estimación de la capacidad del tanque séptico la Ecuación 9, tomando como referencia el caudal máximo estimado en dicha ecuación.

Para los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), se tiene como referencia el libro Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors (Carlos Arturo de Lemos Chernicharo, 2007), en el cual se presentan los parámetros y las recomendaciones de diseño para estos, tal como se muestra a continuación:

- Tiempo de Retención: Se refiere al tiempo de residencia del agua entrante en el filtro, y se establece por medio de la siguiente expresión:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 10. Tiempo de retención - FAFA

Donde:

t: Tiempo de retención hidráulico (Horas)
V: Volumen del filtro anaerobio (m³)
Q: Flujo de agua promedio de entrada (m³/d)

- Temperatura: se establece que los filtros anaerobios pueden ser operados satisfactoriamente, en rangos de temperatura entre 25 y 38 °C.
- Altura de Lecho Empacado: El autor se basa en lo descrito por Goncalves et al 2001, donde se indica por parte del autor que según experiencias y estudios desarrollados por PORSAB (Programa Nacional de Investigación en Saneamiento Básico del Brasil), las alturas de lecho empacado, pueden variar entre 0.8 y 3.0 metros de altura, siendo 1.5 m el valor que usualmente es utilizado.
- Tasa de Carga Hidráulica (HLR): Corresponde al volumen de agua residual que se incorpora por unidad de área del medio filtrante empacado, y se establece por medio de la siguiente ecuación:

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 11. Tasa de carga hidráulica - FAFA

Donde:

HLR: Tasa de Carga Hidráulica (m³/m²/d)
Q: Flujo de agua promedio de entrada (m³/d)
A: Área superficial del medio filtrante empacado (m²)

- Tasa de Carga Orgánica: Establece la carga volumétrica de materia orgánica, incorporada al filtro anaerobio, en relación al volumen del lecho filtrante empacado, y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$Lv = \frac{Q * So}{V}$$

Ecuación 12. Tasa de carga orgánica - FAFA

Donde:

Lv: Tasa Carga Orgánica Volumétrica (kg DBO/m²-d - kgDQO/m²-d)

Q: Flujo de agua promedio de entrada (m³/d)

So: Concentración entrante de DBO ó DQO (Kg DBO/m³ - Kg DQO/m³)

V: Volumen total del filtro o volumen ocupado por el medio filtrante empacado (m³)

Sumado a lo anterior, se establece la importancia de los detalles constructivos, tales como la distribución efectiva del agua de entrada al sistema, así como los sistemas de evacuación de lodos y muestreo de los mismos.

La tabla 5.2 del libro Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors, muestra los criterios de diseño de los filtros anaerobios usados como pos tratamiento de efluentes provenientes de reactores anaerobios. Esta tabla se presenta a continuación en la Figura 20.

Table 5.2. Design criteria for anaerobic filters applied to the post-treatment of effluents from anaerobic reactors

Design criteria/parameter	Range of values, as a function of the flowrate		
	for Q _{average}	for Q _{daily-maximum}	for Q _{hourly-maximum}
Packing medium	Stone	Stone	Stone
Packing bed height (m)	0.8 to 3.0	0.8 to 3.0	0.8 to 3.0
Hydraulic detention time* (hour)	5 to 10	4 to 8	3 to 6
Surface loading rate (m ³ /m ² ·d)	6 to 10	8 to 12	10 to 15
Organic loading rate (kgBOD/m ³ ·d)	0.15 to 0.50	0.15 to 0.50	0.15 to 0.50
Organic loading in the packed bed (kgBOD/m ³ ·d)	0.25 to 0.75	0.25 to 0.75	0.25 to 0.75

* The adoption of the lower limits of HDT for the design of anaerobic filters requires special care regarding the type of packing medium, the presence of TSS in the influent and the height of the packing bed. Besides that, the operational routine will demand a higher sludge discharge frequency, to avoid clogging problems.

Figura 20. Criterios de diseño de filtros anaerobios - Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors

Lo que respecta a los humedales artificiales como pulimento para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se tiene que la Agencia de Protección Ambiental-EPA (Environmental Protection Agency por sus siglas en inglés), clasifica en dos grandes grupos los humedales, los cuales son de Flujo Superficial y Flujo Subsuperficial.

El documento técnico denominado Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales – Humedales de Flujo Subsuperficial (Environmental Protection Agency -EPA, 2000), argumenta que los humedales se describen generalmente por la posición de la superficie del agua o el tipo de vegetación presente. Es así como los humedales naturales son sistemas que presentan flujo libre superficial y expuestos a la atmósfera, que incluyen fangales los cuales presentan vegetación de musgos, zonas pantanosas que tienen vegetación arbórea y praderas inundadas en la que predominan la vegetación herbácea y macrófitas emergentes.

Los humedales artificiales de Flujo Subsuperficial (FS, Subsurface Flow Wetlands) son diseñados para el tratamiento de aguas residuales o como fase terminal de tratamiento. Este está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado de soporte, que por lo general es grava, roca triturada, arena y otro tipo de material del suelo. El tipo de vegetación por lo general son los mismos emergentes en las praderas inundadas, y por diseño, el agua permanece por debajo de la superficie, presentando ventajas en cuanto a los humedales de flujo superficial, la prevención en la proliferación de vectores como mosquitos, disminución de olores y la eliminación del riesgo que las personas entren en contacto con el agua parcialmente tratada.

Si se tiene en cuenta que el área de sustrato que presenta un humedal de Flujo Subsuperficial, sobrepasa técnicamente el sustrato disponible en humedales de Flujo Superficial, las tasas de reacción microbiana son mayores en los humedales de flujo subsuperficial y por ende el área de estos es menor para los mismos caudales y necesidades de calidad final de agua, si los comparamos con los de flujo superficial,

Conforme a esto, se plantea un humedal de flujo subsuperficial como pulimiento final del efluente proveniente del sistema de tratamiento que se escoja para el caso de estudio.

La Figura 21 muestra el esquema de un humedal de flujo subsuperficial, en el que se presentan las secciones que componen dicho sistema, y la posible distribución tanto en tamaño del lecho de soporte, como la distribución de entrada y salida del agua.

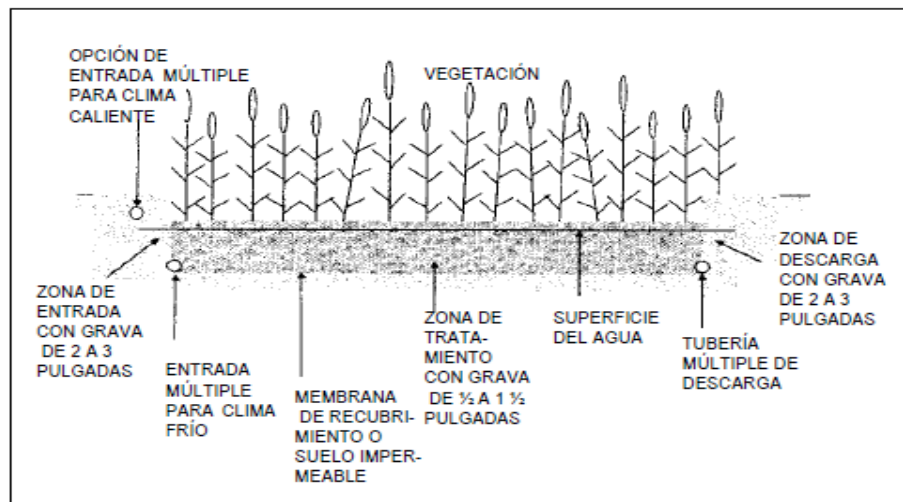


Figura 21. Esquema Humedal de Flujo Subsuperficial

Tomando como referencia la Guía Para el Diseño y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales de la EPA (US Environmental Protection Agency - EPA), en el que se indican los parámetros para el diseño de humedales

de flujo subsuperficiales, se muestra a continuación las fórmulas por medio de las cuales se estima el área para un humedal de este tipo:

$$A_S = L * W = \frac{Q * \ln \frac{C_o}{C_e}}{Kt * d * n}$$

Ecuación 13. Cálculo del área superficial del humedal artificial se flujo subsuperficial

$$Kt = K_{20} * (\theta) = K^{T-20 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$K_{20}=1.04$$

$$\Theta= 1.06$$

Donde:

As: Área Superficial del Humedal de Flujo Subsuperficial (m²)

L: Longitud (m)

W: Ancho (m)

Q: Flujo (m³/día)

Co: DBO Afluente (mg/L)

Ce: DBO Efluente (mg/L)

Kt: Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales T °C

K₂₀: Proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales T=20 °C

d: Profundidad promedio del agua en el filtro (m)

n: Porosidad de la estructura de filtro (% como decimal)

Seguido al cálculo del área superficial del humedal, se debe estimar por medio de la ecuación de Darcy la capacidad del diseño para conducir el flujo a través del humedal. Esta capacidad se calcula mediante la ecuación que se muestra a continuación:

$$Q= K_s * A * S$$

Ecuación 14. Ecuación de Darcy – Capacidad de conducción de flujo.

Donde:

Q: Flujo capaz de pasar a través del humedal ($m^3/día$)

K_s : Conductividad hidráulica de una unidad de área de la estructura de 50-8 – 127 mm

K_s : 100.000 $m^3/m^2/día$. (Valor sugerido de 0.3 K_s como factor de seguridad)

S: Gradiente hidráulico de la superficie del agua en el sistema (d/L) (Valor sugerido 0.1 del máximo de S como factor de seguridad)

A: Área transversal del humedal artificial (m^2)

Con base en lo anterior descrito para el humedal, si el caudal que se estima mediante la Ecuación 14 no es igual o en su defecto excede el caudal de diseño, se debe ajustar para disminuir la longitud y aumentar el ancho, con el objetivo que se cumpla con el área superficial calculada mediante la Ecuación 13. Este procedimiento se repite hasta que el flujo de diseño sea menor o igual al flujo determinado por la Ecuación 14.

Para algunos de los casos que se reportan en la guía de diseño se necesitaría un ancho mayor que el largo, por lo que se sugiere que el filtro se divida en unidades de filtros más pequeños, de forma tal que sea más largo que ancho, con el fin que se minimice el riesgo de un corto circuito dentro del filtro.

4.2 Diseño de un sistema de tratamiento descentralizado tipo.

Aplicando como base de cálculo, los valores que fueron encontrados para vertimientos con caudales menores a 4.3 L/s, según lo descrito por el ingeniero Jairo Romero Rojas en el libro Tratamiento de Aguas Residuales – Teoría y Principios de Diseño (Jairo Alberto Romero Rojas, 2004), tomamos el punto denominado Barrio Caldas, en el municipio de Fresno, así como los valores para la DBO y SST encontradas en las caracterizaciones realizadas por CORTOLIMA, como referencia para la estimación de un sistema de tratamiento descentralizado. Para este caso calcularemos las unidades de tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y humedal artificial de flujo subsuperficial.

De esta forma se calcula el sistema de tratamiento para el sector tomado como referencia, denominado Barrio Caldas en el municipio de Fresno, teniendo en cuenta que se tienen caudales promedio alrededor de 2 L/s para la mayoría de los vertimientos individuales encontrados en los recorridos por lo municipios. Este punto de vertimiento encontrado en el municipio de Fresno, debe ser tratado individualmente, conforme a que por cuestiones de topografía, las aguas no discurren hacia un mismo punto, por ende se necesitarían sistemas de bombeo

y según lo expuesto anteriormente, los costos y posibles cortes de energía, no garantizan el correcto funcionamiento de esta.

Este sector se escoge en gran parte, debido a que la corriente receptora de los vertimientos del Barrio Caldas, tributa sobre la Quebrada Rio Sucio, la cual finalmente vierte sobre la fuente hídrica que surte el acueducto del municipio vecino de San Sebastián de Mariquita.

Para el sector denominado Barrio Caldas se cuenta con la siguiente información:

Datos Diseño Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	
Municipio	Fresno
Sector	Barrio Caldas
Población (Habitantes)	2060 (Tabla 43)
Caudal (L/s)	2.38 (Tabla 43)
Concentración DBO ₅ (mg/L)	294 (Numeral 3.2.5)
Concentración SST (mg/L)	214 (Numeral 3.2.5)
Temperatura del agua (°C)	23.6

Tabla 45. Datos diseño sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Iniciamos con el cálculo del tanque séptico, usando la Ecuación 9, como se muestra a continuación:

$$C = 4.26 + 0.75 * Q_1$$

C: Capacidad total del tanque séptico en m³

Q₁: Caudal de aguas residuales, m³/día, para Q₁: 5.7 a 380 m³/d. (0.017 a 4.39 L/s)

Reemplazando el caudal de 2.38 L/s (205,632 m³/d) se tiene:

$$C = 4.26 + 0.75 * (205.632 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$C: 158.48 \text{ m}^3.$$

Si colocamos un factor de seguridad del 30% y dividimos en dos unidades, con el fin de poder usar una sola unidad en el momento que se requiera realizar mantenimiento de esta. Por lo tanto se obtiene una capacidad del tanque séptico, con el volumen corregido de:

$$C: 206.03 \text{ m}^3$$

Siguiendo las recomendaciones realizadas por el documento RAS 2000 en cuanto a relación Ancho y Largo y profundidad promedio, se opta técnicamente por las siguientes:

Relación Ancho: Largo – 2:1
 Profundidad: 2 metros

Borde libre: 0.3 metros

Con base en lo anterior se estiman dos unidades con las siguientes dimensiones:

Ancho: 5.2 m

Largo: 10 m

Profundidad total: 2.3 m

Lo que se refiere al Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), se toma como referencia la Ecuación 10, y un tiempo de retención de 10 horas, según recomendaciones establecidas en la Figura 20, para lo cual se obtiene:

$$V=Q*t$$

$$V = 205.632 \frac{m^3}{d} * 10 \text{ horas} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$V= 85.68 \text{ m}^3$$

Igualmente se siguen las recomendaciones que se expresan en el libro Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors, y tomando la distribución que se tiene para el tanque séptico de dos unidades asumiendo por facilidad en la construcción el ancho igual al que se obtuvo para el tanque, se obtienen las siguientes dimensiones:

Ancho: 5.2 m

Largo: 3.6 m

Profundidad Total: 2.3 m

Profundidad Lecho Empacado: 1.5 m

Borde Libre: 0.3 m

Altura parte inferior (distribución): 0.5 m

Además de lo anteriormente calculado, se lleva a cabo la estimación de las tasas de carga hidráulica y orgánica, por medio de la Ecuación 11 y Ecuación 12.

Reemplazando la ecuación para la tasa de carga hidráulica y teniendo en cuenta que se construyen dos filtros, acorde a la distribución del tanque séptico, se tiene:

$$HLR = \frac{Q}{A} = \frac{Q \text{ por unidad}}{\frac{\text{Volumen}}{\text{Altura total}}}$$

$$HLR = \frac{102.816 \text{ m}^3/d}{\frac{42.84 \text{ m}^3}{2.3 \text{ m}}}$$

$$HLR: 6.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

Esta carga se encuentra dentro de lo establecido por las recomendaciones teóricas descritas en la Figura 20.

Tomando referencia del libro Tratamiento de Aguas Residuales – Teoría y Principios de Diseño, la eficiencia de remoción de los tanques sépticos pueden variar desde los 30 al 50%, por lo que se asume una remoción del 40% en esta unidad, lo que muestra una concentración de entrada al tanque séptico de 294 mg/L y de salida (igual a la de entrada al FAFA) de 176.4 mg/L (0.1764 Kg/m³).

Reemplazando la ecuación correspondiente a la tasa de carga orgánica para el filtro anaerobio se tiene:

$$Lv = \frac{Q * So}{V}$$

$$Lv = \frac{102.816 \frac{\text{m}^3}{d} * 0.1764 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{m}^3}}{42.84 \text{ m}^3}$$

$$Lv = 0.42 \text{ Kg DBO}/\text{m}^3/\text{d}$$

Si calculamos el volumen del lecho empacado, que para este caso se determina multiplicando la altura del lecho (1.5 m) por el área de cada unidad del FAFA, se obtiene:

$$V_{\text{Lecho}}: 1.5 \text{ m} * \text{Volumen/Altura Total}$$

$$V_{\text{Lecho}}: 1.5 \text{ m} * 42.84 \text{ m}^3 / 2.3 \text{ m}$$

$$V_{\text{Lecho}}: 27.93 \text{ m}^3 \text{ (por unidad FAFA)}$$

Y si reemplazamos nuevamente la ecuación para la tasa de carga orgánica para el lecho empacado, se tiene que:

$$Lv = \frac{102.816 \frac{m^3}{d} * 0.1764 \frac{Kg\ DBO}{m^3}}{27.94\ m^3}$$

$$Lv = 0.65\ Kg\ DBO/m^3/d$$

Estos dos valores tanto para la tasa de carga orgánica para el filtro como para el lecho empacado, cumplen con lo recomendado por la Figura 20.

La eficiencia de la operación del FAFA se presenta en el libro Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors, y se presenta por la siguiente expresión:

$$E = 100 * (1 - 0.87 * t^{-0.5})$$

Ecuación 15. Eficiencia filtro anaerobio de flujo ascendente

Donde:

E: Eficiencia del filtro anaerobio (%)

t: Tiempo de retención (horas)

0.87: Constante empírica (coeficiente del sistema)

0.5: Constante empírica (Coeficiente del medio empacado)

De esta forma con el tiempo que se optó para el diseño de 10 horas, se calcula la efectividad:

$$E = 100 * (1 - 0.87 * 10^{-0.5})$$

$$E = 72\%$$

Con este valor y teniendo en cuenta la concentración de entrada al FAFA se tiene que:

$$C_{efl} = S_o - \frac{E * S_o}{100}$$

Ecuación 16. Calculo de la concentración de salida

Donde:

C_{efl}: Concentración del efluente (mg/L)

S_o: Concentración de entrada al FAFA (mg/L)

E: Eficiencia del FAFA (%)

Tomando el valor que se encontró para la eficiencia del 72% y la concentración que entra al FAFA (176.4 mg/L), se tiene que la concentración de salida se estima:

$$C_{efl} = 176.4 \text{ mg/L} - \frac{72 * 176.4 \text{ mg/L}}{100}$$

C_{efl}: 48.5 mg/L

Si se observa el valor de salida del FAFA, se puede determinar que se cumple con lo exigido por la normatividad, específicamente lo descrito en la resolución 631 de 2015 (Figura 16) valor que está por debajo del valor normativo y restrictivo de esta, estimado en 90 mg/L.

No obstante lo anterior, se calcula el humedal artificial de flujo subsuperficial, como sistema de pulimento y contingencia. Para esto se utiliza la Ecuación 13, en la cual se estima la temperatura del agua residual para el cálculo de Kt, las concentraciones de entrada (Co) y salida (Ce), y los valores de profundidad promedio del agua en el lecho (d) y la porosidad de la estructura de filtro (n). Estos valores se estiman a continuación:

Co: 48.53 mg/L (Salida FAFA)
 Ce: 30 mg/L (Salida del Humedal)
 d: 0.3
 n: 0.35 (Cuando se cuenta con plantas)
 t: 23.6 °C. (Temperatura del agua residual)

$$A_S = L * W = \frac{Q * \ln \frac{C_o}{C_e}}{Kt * d * n}$$

$$Kt = K_{20} * (\theta) = K^{T-20^\circ C}$$

$$K_{20}=1.04$$

$$\Theta = 1.06$$

$$Kt = 1.04 * 1.06^{23.6 - 20}$$

$$Kt = 1.36$$

$$A_S = L * W = \frac{205.632 \text{ m}^3/\text{d} * \ln \frac{48.53}{30}}{1.36 * 0.3 * 0.35}$$

$$L * W = 691.80 \text{ m}^2$$

Si tomamos una profundidad del lecho de 0.35 m, y una relación de ancho- largo de 2:1, se tiene que:

$$L: 18.59 \text{ m}$$

$$W: 37.20 \text{ m}$$

Con base en estas dimensiones, se calcula la capacidad de conducción de flujo por medio de la Ecuación 14, para lo cual se tiene que:

$$Q = K_s * A * S$$

Ks: 100.000 m³/m²/dia. (valor sugerido de 0.3 Ks como factor de seguridad)

S: Gradiente hidráulico de la superficie del agua en el sistema (d/L) (Valor sugerido 0.1 del máximo de S como factor de seguridad)

S: Profundidad del lecho/Largo Humedal *0.1

$$S = 0.1 * (0.35 \text{ m} / 37.20 \text{ m})$$

$$S = 9.4 \times 10^{-4}$$

A: Área transversal del humedal artificial (m²) (Ancho*Profundidad del lecho)

$$A = 0.35 \text{ m} * 18.59 \text{ m}$$

$$A = 6.51 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.33 * (100.000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}) * (6.51 \text{ m}^2) * (9.4 \times 10^{-4})$$

$$Q = 204.16 \text{ m}^3/\text{d}$$

Este caudal no excede el caudal de diseño, por lo tanto las consideraciones de área superficial, sumadas al área transversal del humedal, se encuentran acorde a lo recomendado por la literatura.

Por facilidad y siguiendo las recomendaciones de la literatura, específicamente lo descrito en la Guía Para el Diseño y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales de la EPA, se divide en cuatro (4) celdas, garantizando que no se tengan cortos circuitos en la distribución del flujo.

El tiempo de retención hidráulica viene establecido mediante la siguiente expresión:

$$TRH = \frac{V * \text{Espacio Vacío}}{\text{Caudal}}$$

Ecuación 17. Tiempo de retención hidráulica del humedal artificial.

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (días)

V: Volumen (m³) = Área Superficial * Profundidad del lecho

Espacio Vacío = Porosidad

$$TRH = \frac{691.8 \text{ m}^2 * 0.35}{205.632 \text{ m}^3/\text{d}}$$

TRH= 0.41 Días

Teniendo en cuenta lo anterior, las unidades del humedal artificial se establecen bajo las siguientes dimensiones, aproximando a números enteros y garantizando el área superficial y gradientes calculados:

LARGO: 38 m

ANCHO DE CADA CELDA: 5 m

ANCHO TOTAL: 20 m

PROFUNDIDAD LECHO: 0.35 m

Las plantas que podrían sembrarse en la parte superior del humedal artificial, pueden ser Aneas (*Typha* spp), Juncos (*Schoenoplectus* spp), Papiro (*Cyperus papyrus*) y platanillo (*Heliconia chartacea*), tal como se describe en el artículo desarrollado por la Universidad Tecnológica de Pereira y su grupo de investigación en agua y saneamiento, adscrito a la facultad de ciencias ambientales, denominado Septic Tank (ST)- Up Flow Anaerobic Filter (UFAF) – Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) system aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia (Gómez, Juan David Villegas, et al, 2006).

El esquema del sistema de tratamiento se puede observar en el anexo 4.

El manejo de los lodos provenientes de las actividades de mantenimiento realizadas sobre el sistema de tratamiento, específicamente del tanque séptico y el filtro anaerobio de flujo ascendente, serán dispuestos finalmente acorde a las normas ambientales, de tal forma que se aprovechen como mejorador de suelos, deshidratando los lodos en lechos de secado, provistos de retorno de lixiviados hacia la entrada del sistema.

Si bien en esta parte del trabajo no se diseña este tipo de unidad de secado de lodos, conforme a que se plantea el manejo de estos mediante la extracción por medio de camiones Vactor y/o contratistas externos, acorde a la facilidad inicial para el control de este tipo de residuos, si se deja explícitamente la necesidad de un manejo óptimo, que como se menciona arriba cumpla con las especificaciones ambientales y se aproveche como agente mejorador de tierra o cultivos.

No obstante en apartes posteriores en lo que se proyecta para la estimación de los costos de la planta de tratamiento, se tienen en cuenta las unidades de lecho de secado de lodos y Desarenadores, conforme a los estudios que desarrollan los autores. Estos costos tal como se mencionará son referentes únicamente debido al desconocimiento del costo por hectárea en el lugar que se ubica el proyecto.

De otro lado, si bien no se cuenta con normatividad ambiental vigente que indique cuales son los parámetros a cumplir en cuanto a emisión de gases provenientes de los sistemas de tratamiento (metano y gases ácidos), se tendrá que tener en

cuenta para el diseño definitivo la extracción y posterior tratamiento (en el caso de los gases ácidos) por medio de unidades de lavado, así como la quema de la totalidad de estos, lo que podría utilizarse como combustible para el calentamiento del agua residual que entra al sistema.

Además de lo anterior las unidades de pre tratamiento tales como rejillas de desbaste, desarenador y trampa de grasas, deben ser instaladas antes de la entrada del sistema de tratamiento, con el fin de garantizar un óptimo funcionamiento y aumentar los tiempos entre mantenimientos de cada una de las unidades que conforman el sistema.

Las rejillas de desbaste estarán ubicadas antes de la entrada al sedimentador las cuales serán dispuestas de tal forma que puedan limpiarse manualmente y de las cuales se retire el material recogido de manera fácil, para ser dispuestos como residuos finalmente. Estas rejillas deben estar colocadas en una inclinación promedio de 60° y según las recomendaciones técnicas descritas en el documento Reglamento Técnico Para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000 (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, 2000), deben estar localizadas antes de cualquier unidad de tratamiento y bombeo, para evitar obstrucciones, sus rejas espaciadas entre 15 y 50 mm, y velocidad de aproximación de entre 0.3 y 0.6 m/s, así como este mismo rango para la velocidad mínima entre barras.

Lo que respecta al desarenador tiene como objeto la protección contra la abrasión, disminución de depósitos en tuberías, ductos y canales, reducción de la frecuencia de limpieza por la arena acumulada, y disminuir la pérdida de volumen efectivo de las unidades de tratamiento biológico. El RAS -2000 presenta las recomendaciones para estas unidades (desarenador de flujo horizontal) en las que se muestra la relación de ancho y profundo de 1:1 – 5:1, velocidad del agua entre 0.2 y 0.4 m/s, mínimo de dos unidades, velocidad de sedimentación de entre 30 y 65 m/h, tiempo de retención entre 20 segundos y 3 minutos, además de estructuras opcionales para el control de caudal a la salida de la unidad.

Para el retiro de grasas se recomienda según el RAS 2000, el uso de sedimentadores primarios provistos de dispositivos que arrastren y evacuen el sobrenadante de manera óptima y oportuna hacia unidades de secado o succionados por medio de camiones cisterna. Por otro lado la implementación de unidades como trampa de grasas, para lo cual se recomienda por parte del RAS 2000 que tenga un área de 0.25 m^2 por cada L/s, ancho/longitud que varía en relación de 1:4 a 1:18 y velocidad ascendente de mínima de 4 mm/s. Así mismo se deben implementar elementos que controlen el flujo a la entrada y salida de estas unidades, garantizando que no se tengan sobrecargas repentinas de caudal, además con diámetros de tubería entrada mínimo de 50 mm de diámetro, sumergido por lo menos 150 mm y la tubería de salida mínimo de 100 mm de diámetro, sumergido por lo menos 150 mm. Esta tubería de salida debe realizar la recolección por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0.9 m.

4.3 Costos asociados a la alternativa diseñada

Si bien en la actualidad no se tiene una aproximación certera sobre los costos en que se puede incurrir para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en Colombia, y por ende el mantenimiento asociado a este durante el tiempo que se estima de servicio de sistema y conforme a que es variable el valor de la mano de obra, materiales, costo del terreno e incluso asesorías profesionales, la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) ha desarrollado un modelo en el que se estiman los costos promedio de los sistemas de tratamiento, denominado **Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región** (Quintero, D.S. Zapata. M.A, & Guerrero. J, 2007).

Se indica por parte de los autores del artículo, que en Colombia no se han construido tal cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas suficientes, como para realizar un comparativo y/o estadístico en el que se indique el costo de sistemas similares a los que se pretende construir. Por lo tanto dicho modelo se basó en el *“método de costos unitarios siguiendo los lineamientos del método CAPDET, el cual combina los métodos de acercamiento paramétrico y de costos unitarios para realizar la estimación de costos totales de un proyecto y el modelo conceptual del CINARA”*, según lo indican los autores.

En el desarrollo del modelo en cuestión, se clasificaron los costos en dos categorías principales: los costos de inversión inicial y los costos de funcionamiento.

Los costos de inversión inicial para la implementación de un sistema de tratamiento están relacionados con las inversiones necesarias para la construcción de toda la obra física, diseños, maquinaria usada, materia prima, equipos especializados y mano de obra. Sumado a lo anterior se aclara que en esta etapa es necesario tener en cuenta aparte de los costos directos de construcción aquellos que si bien no son tenidos en cuenta explícitamente, si elevan los costos de manera significativa. Estos son los estudios de pre inversión, interventoría, administración y utilidades (AIU), que en particular este último factor, para nuestro país en promedio se estima en un 20%.

Estos costos no obedecen a una proporción lineal entre el caudal y dicho capital, debido a que también se tiene especial relación con la calidad de agua a tratar, por lo que los costos se deben asociar a las dimensiones y tamaños de las unidades de tratamiento, representados por una ecuación de la forma $y=A \cdot X^B$, donde Y es la cantidad de obra requerida y X es el tamaño característico de la unidad.

Los costos de operación y mantenimiento son los que se generan con el objetivo principal que se garantice el óptimo desempeño del sistema de tratamiento, así como la eficiencia del mismo.

Estos costos están relacionados directamente con la complejidad del sistema utilizado, el tamaño del sistema y la capacidad local para soportar dicha complejidad, ligados por los requerimientos de tecnología, entre los que se puede encontrar la energía eléctrica, insumos químicos, control de calidad de agua del proceso, mantenimiento y reparación de equipos, personal para operación y mantenimiento de las instalaciones y gastos de administración.

El personal asociado a la operación de los sistemas de tratamiento, puede estar conformado por la administración, operación, mantenimiento y personal de laboratorio.

Teniendo en cuenta lo anteriormente citado, el artículo desarrollado por la Universidad Tecnológica de Pereira, fija en su investigación caudales de diseño de 1, 3, 8 y 16 L/s, que corresponden según la estimación realizada a poblaciones de 600, 1800, 4800 y 9600 habitantes respectivamente, para una dotación de 180 L/hab-día y un factor de retorno de 0.8. Así mismo se tuvieron en cuenta las recomendaciones establecidas por el documento RAS 2000, en concreto reforzado y las unidades semienterradas.

Los sistemas o trenes de tratamiento que se evaluaron por parte de los autores fueron los siguientes:

- Desarenador – sedimentador primario-humedal de flujo subsuperficial-lecho de secado.
- Desarenador – sedimentador primario – humedal de flujo superficial – lecho de secado.
- Desarenador – sedimentador primario – filtro percolador – sedimentador secundario – lecho de secado.
- Desarenador – sedimentador primario – laguna facultativa- lecho de secado de lodos.
- Desarenador – sedimentador primario – lodos activados – sedimentador secundario – lecho de secado.
- Desarenador – tanque séptico – filtro anaerobio de flujo ascendente – humedal de flujo subsuperficial – lecho de secado.

El modelo se desarrolló para cada uno de los anteriores sistemas que se nombraron anteriormente, y se tuvieron en cuenta las siguientes actividades: localización, excavación, colocación de concreto, figurado de hierro, instalación de formaleta, material de soporte, recubrimiento, sembrados, instalaciones hidráulicas, equipos, conexiones, cerramiento, afirmado de vías y cunetas de aguas lluvias.

Como resultado de la estimación de los costos correspondientes a los sistemas de tratamiento definidos en el modelo, se obtuvieron graficas que muestran los costos de construcción para cada uno de estos trenes de tratamiento, así como los costos de operación y mantenimiento.

En la Figura 22 se muestran los costos de construcción de los seis sistemas o trenes de tratamiento que se evaluaron en el modelo.

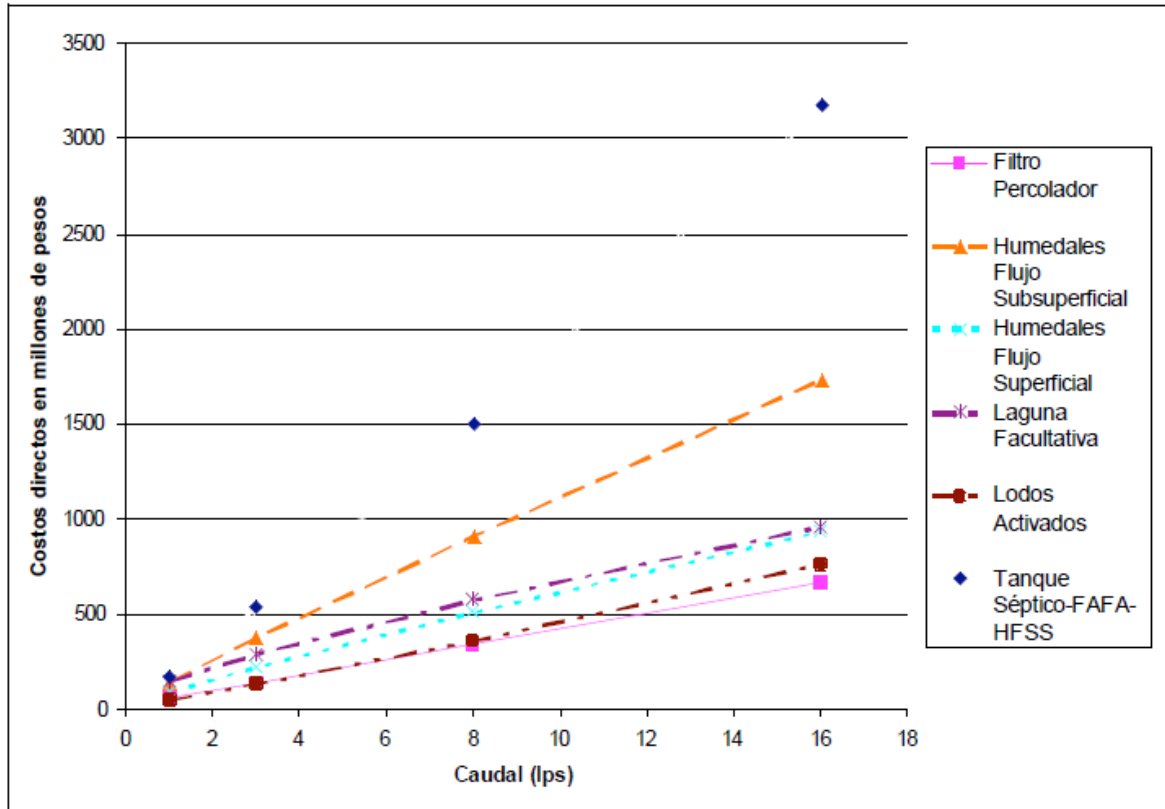


Figura 22. Costos de construcción sistemas de tratamiento – Modelo UTP

La Figura 23 muestra los costos que se estiman debido a la operación y el mantenimiento de los sistemas evaluados en el modelo.

Con base en esto y si se tiene en cuenta el caudal de diseño del sistema de tratamiento para el punto denominado Barrio Caldas en el municipio de Fresno, el cual se estimó en 2.38 L/s (Tabla 43), hallamos los costos correspondientes a la construcción (Figura 22), además de los relacionados con el mantenimiento y operación de este (Figura 23). En este caso el sistema que se diseñó para el punto Barrio Caldas del municipio de Fresno, obedece al tren de tratamiento denominado como Tanque Séptico – FAFA-HFSS de las figuras anteriormente citadas.

Cabe anotar que los costos anteriormente descritos, tienen consigo la unidad de pre tratamiento como el Desarenador, por lo cual para efectos comparativos se incluirá dicha unidad.

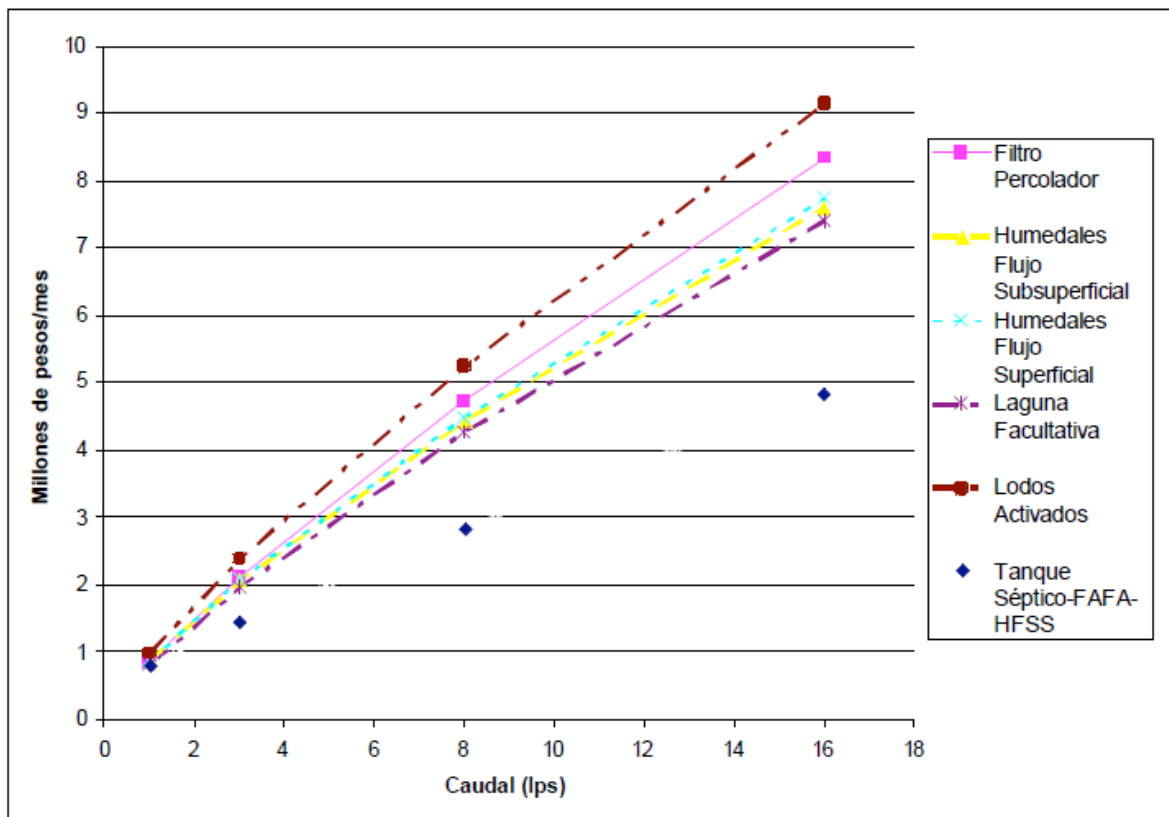


Figura 23. Costos de operación y mantenimiento sistemas de tratamiento – Modelo UTP

Para un caudal de 2.38 L/s, los costos estimados para la construcción (Figura 22) y los correspondientes a la operación y mantenimiento por mes del sistema seleccionado (Figura 23), correspondientes al año 2007 son los siguientes:

Costos de Construcción: \$450.000.000 Mcte

Costos de Operación y Mantenimiento: 1.100.000 Mcte/ mes.

Si se tiene en cuenta que para el año 2007 el salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) para nuestro país correspondió a \$433.700 pesos mcte, los costos de construcción y mantenimiento expresados en salarios mínimos para ese año son los que mostramos a continuación:

Costos de Construcción: 1037.58 SMMLV (Año 2007)

Costos de Operación y Mantenimiento: 2.54 SMMLV / mes (Año 2007)

De esta forma y si tomamos como referencia el SMMLV para el año 2015, el cual corresponde a \$644.350 pesos mcte, estimamos los costos actuales de construcción, operación y mantenimiento.

Costos de construcción: 1037.58 SMMLV * \$644.350 (Año 2015)

Costos de construcción: \$668.564.673 Mcte. (Año 2015)

**Costos de Operación y Mantenimiento: 2.54 SMMLV* \$644.350 (Año 2015)/
mes**

Costos de Operación y Mantenimiento: \$1.636.649 Mcte/ mes

Con base en lo anterior, se tiene que por medio del modelo desarrollado por la Universidad Tecnológica de Pereira los costos de construcción, operación y mantenimiento se muestran a continuación:

Etapa	Costos para el año 2015
Construcción	668.564.647
Operación y mantenimiento /mes	1.636.649

Tabla 46. Costos del sistema de tratamiento seleccionado – Modelo UTP

Los valores de los salarios mínimos mensuales para los años 2007 y 2015 fueron consultados de las bases de datos del Banco de la Republica.

Si bien se observa que el mayor costo de construcción corresponde al sistema de tratamiento seleccionado (Tanque Séptico – FAFA- HFSS), es sistema que presenta menor valor de mantenimiento y operación. Razón fundamental para la escogencia del mismo si se tiene en cuenta lo descrito en el documento *Selección de Tecnologías Para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales – Guía de Apoyo Para Ciudades Pequeñas y Medianas* (Instituto de Ingeniería UNAM, 2013).

Es necesario en este espacio realizar un análisis de los costos que se cancelan por parte de las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado o de servicios públicos y en casos particulares las administraciones municipales, en lo que respecta a tasa retributiva por vertimientos de aguas residuales domésticas sobre los cuerpos de agua o fuentes receptoras y compararse con los costos asociados a la construcción de los sistemas de tratamiento sumados a los correspondientes a la operación y mantenimiento del mismo.

Conforme a consultas realizadas en CORTOLIMA con base en los costos establecidos para el pago de la tasa retributiva, por lo que se encontró que no se cuenta con valores actualizados para el año 2015, se tendrá como referencia la resolución 0052 del 14 de enero de 2015, proferida por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, 2015), “*en la cual se ajusta la tarifa mínima de la tasa retributiva (Tm) para los parámetros objeto de cobro de las tasas retributivas para el departamento, durante la vigencia del 2015*”:

DBO: \$122.86/Kg

SST: \$ 52.58/Kg

Retomando los valores que fueron hallados en el municipio de Fresno, específicamente en el punto de vertimientos denominado Barrio Caldas, correspondientes a caudal y concentración para la DBO y SST, se tiene que:

Caudal: 1.66 L/s (Año 2015 - Tabla 43)

Concentración DBO₅: 294 mg/L (Numeral 3.2.5)

Concentración SST: 214 mg/L (Numeral 3.2.5)

Si calculamos la cantidad de Kg de cada uno de los contaminantes vertidos y lo multiplicamos por el valor en pesos que se indica según lo descrito en la resolución 0052 de 2015 de la CAM, se puede estimar el valor que se pagaría por parte del municipio de Fresno, para el punto denominado Barrio Caldas;

$$\frac{\$DBO}{Mes} = 294 \frac{mg}{L} * 1.66 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * 1 \frac{Kg}{1x10^6mg} * 30 \frac{dia}{mes} * 122.86 \frac{\$}{kg DBO}$$

$$\frac{\$DBO}{Mes} = \mathbf{155.417,86 Mcte}$$

$$\frac{\$SST}{Mes} = 214 \frac{mg}{L} * 1.66 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * 1 \frac{Kg}{1x10^6mg} * 30 \frac{dia}{mes} * 52.58 \frac{\$}{kg DBO}$$

$$\frac{\$SST}{Mes} = \mathbf{48.414,72 Mcte}$$

Si sumamos los dos valores encontrados, tanto para la DBO como para los SST, observamos que el municipio de Fresno, para el punto denominado Barrio Caldas, pagaría un total \$203.832,58 pesos Mcte al mes, por concepto de tasa retributiva, teniendo en cuenta que son aguas residuales domésticas sin tratamiento previo.

Si comparamos este valor con el que se requiere para la operación y mantenimiento del sistema que se plantea implementar para el mismo punto, el cual se calcula en **\$1.636.649 mcte/mes**, se puede ver claramente que es más económico para un municipio pagar los valores que se cobran por parte de las autoridades ambientales por concepto de tasa retributiva, que aquellos relacionados al mantenimiento de los sistemas de tratamiento, sin tener en cuenta los costos relacionados a la construcción de los mismos.

4.4 Recomendaciones de construcción y puesta en marcha de los sistemas para cada uno de los municipios estudiados.

4.4.1 Recomendaciones de construcción

Para la totalidad de los municipios que fueron estudiados en la cuenca alta del Río Gualí, se encontró que presentan puntos de vertimientos aislados de aguas residuales domésticas o por fuera de la red de alcantarillado existente, así como la ausencia de sistemas de tratamiento para estas aguas, si se tiene en cuenta

que el municipio de Casabianca es el único que reporta un sistema de tratamiento, pero este a su vez se encontró fuera de operación.

Las recomendaciones que se mencionan a continuación, son comunes para todos los municipios del presente estudio de casos, conforme a que es común la problemática encontrada, tal como se mencionó en el párrafo anterior.

Dentro de las recomendaciones previas a la construcción de los sistemas de tratamiento pudimos identificar las siguientes:

- Considerando que todos los alcantarillados de los municipios que se estudiaron son de tipo combinado, lo que quiere decir que se combinan aguas lluvias con las aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas, se debe implementar unidades de alivio o desborde de exceso de caudal, de forma tal que se garantice el caudal para el que fue diseñado el sistema de tratamiento. Estas unidades al igual que el resto de la red de alcantarillado, debe estar conforme a datos de precipitaciones promedio de cada uno de los municipios.
- Con el fin de garantizar que a los sistemas de tratamiento no entren residuos sólidos que puedan taponar u obstruir los ductos de cada una de las unidades, se debe implementar sistemas de retención de sólidos gruesos y/o rejillas de desbaste, las cuales retengan objetos de gran tamaño que fuesen arrojados a las alcantarillas o ductos de desagües de las viviendas. Estos deben ser limpiados constantemente por parte de los operarios de los sistemas de tratamiento, y los residuos almacenados adecuadamente para su posterior disposición final.
- Si bien la cantidad de sólidos gruesos que se retienen por parte de las rejillas y unidades de cribado disminuyen en parte el impacto que se genera por la entrada de estas a los sistemas de tratamiento, es viable la implementación de unidades de desarenado de tal forma que se garantice que las partículas grandes de arena y gravas, arrastradas por la corriente en su mayoría de aguas lluvias, puedan sedimentar en esta unidad, y mejorar el tiempo de mantenimiento de las unidades de tratamiento, conforme a la acumulación de dichas partículas en el fondo de dicho sistema.
- La implementación de unidades de pretratamiento como trampas de grasas, el cual garantiza el retiro de sobrenadantes aunado a la disminución de cargas orgánicas que entran al sistema, contribuye a alargar el tiempo de funcionamiento de las unidades de tratamiento y disminuir la frecuencia de los mantenimientos
- Debido a las posibles variaciones de caudal que se presentan en la conducción de las aguas residuales domésticas, y con el fin que se incorpore al sistema de tratamiento únicamente el caudal para el cual fue diseñado, se

hace necesario la implementación de un tanque de igualación que garantice el flujo constante hacia el sistema. Este tanque debe diseñarse, en lo posible, que trabaje por gravedad y no incluya instrumentos de agitación que aumenten el costo de operación de la planta.

- Debido a las exigencias en cuanto a límites de vertimientos y el pago de tasas retributivas por el vertimiento de aguas residuales sobre cuerpos de agua receptores establecidos por las autoridades ambientales, sumado a un control interno para el seguimiento de la eficiencia y funcionamiento de los sistemas de tratamiento, se hace necesario la implementación de unidades de aforo y toma de muestras, tanto a la entrada como a la salida del sistema y de ser posible a la entrada y salida de cada unidad, con el fin de observar el comportamiento de cada una de estas y como se mencionó anteriormente evaluar eficiencias por separado para cada módulo de tratamiento.

Para cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que se pretendan implementar en los municipios en estudio, se hace necesario realizar una etapa de arranque de cada una de las unidades que componen el sistema, de la mano de una capacitación previa del personal que servirá como operario. Este paso sirve intrínsecamente como etapa de preparación y adiestramiento de las personas que estarán como responsables del buen funcionamiento y mantenimiento del sistema en general.

4.4.2 Recomendaciones para la puesta en marcha de los sistemas planteados.

Retomando el sistema de tratamiento que se planteó como solución al punto de vertimiento del municipio de Fresno, conformado por un tanque séptico, un filtro anaerobio de flujo ascendente y un humedal artificial de flujo subsuperficial, se exponen las siguientes recomendaciones para el arranque de dichos sistema, el cual podría ser común y extrapolarse a la situación que fue encontrada en los demás municipios.

Entre las principales actividades del arranque de las operaciones del sistema de tratamiento se encuentra la inoculación de las unidades que así lo ameriten, con bacterias que sean específicas y que se adapten fácilmente tanto al tipo de agua que se va a tratar como al tipo de unidad o medio de soporte que contentan estas.

La Organización Panamericana de la Salud, en su documento Guía Para la Operación y Mantenimiento de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización (Organización Panamericana de la Salud, 2005), indica que previamente al inicio de la operación del sistema de tratamiento y en especial la unidad del Tanque Séptico, se debe incorporar agua residual y de ser posible agregar lodos que provengan de otro tipo tanque séptico que ya haya sido estabilizado (proceso de Inoculación), con el objetivo que se acelere el desarrollo

de microorganismos anaeróbicos. Así mismo indica que para una mayor proliferación de estas bacterias al interior del tanque séptico, se recomienda realizar estas actividades en los meses de mayor temperatura (verano) para que sea mejor y más fácil el desarrollo de biomasa.

Lo que respecta al Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) al igual que el tanque séptico, y teniendo en cuenta que los humedales subsuperficiales también tienen lecho de soporte por el cual atraviesa el agua residual, se debe inocular debidamente con lodos que provengan de unidades estabilizadas, o en su defecto que hayan sido probadas con éxito en otros sistemas, de las mismas características. La Universidad del Valle, específicamente la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR, en el Área Académica de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, desarrollo un artículo denominado Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Influencia del inóculo (Pérez, A., TORRES, P. P., & Pizarro, 2006). En dicho artículo se precisa que dos factores de éxito en el arranque de los FAFA, son la calidad y cantidad de inóculo que se tenga disponible, los cuales definen la duración del periodo de arranque, que depende de las propiedades de sedimentabilidad o adherencia durante el tiempo de crecimiento de la biomasa, redundando en mejores porcentajes y eficiencias de remoción de la materia orgánica.

Sumado a esto se aclara que el tiempo de arranque será corto, si los lodos que se utilizan para la inoculación, presentan una alta actividad metanogénica, y se adapta al sustrato utilizado (en esta caso aguas residuales domésticas)

Todas las actividades de mantenimiento y operación de cada uno de los sistemas de tratamiento, deberán estar consignados en los manuales que se diseñen específicamente para cada sistema, de tal forma que sean legibles y entendibles por los operarios, y desarrollados en un vocabulario asequible para el personal que se encuentra en la planta o que pertenecen a las empresas de servicios públicos. El desarrollo de estos manuales deberá estar a cargo de la empresa consultora que realice el diseño, la construcción y de ser posible la puesta en marcha del sistema, empresa que garantizará la eficiencia y óptimo desempeño de todas las unidades que llevan a cabo el tratamiento, recomendando que en su mayoría y de ser posible, los lodos sean granulares (evitando los floculentos) los cuales presentan mejores características de sedimentabilidad, mayor actividad metanogénica y mayor relación entre los sólidos volátiles (SV) y los sólidos totales (ST).

Dentro de las recomendaciones de construcción y operación del sistema de tratamiento, existe una modalidad que se denomina LLAVE EN MANO, lo cual significa que la empresa o firma consultora que diseñe el sistema de tratamiento, deberá supervisar, y si es el caso construir el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, de tal forma que garantice el óptimo desempeño de este. Así mismo la operación y mantenimiento debe estar desarrollado por la misma empresa, quien será la responsable del cumplimiento de los valores de los parámetros exigidos por la norma, así como la eficiencia y porcentajes de

remoción. De igual manera, el manejo total administrativo de la operación y personal asociado a las labores propias de la operación del o los sistemas existentes.

Se debe tener en cuenta que para una eficaz gestión que conlleve al saneamiento de los cuerpos hídricos receptores, o el mejoramiento de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de estos, se debe propender por la eliminación de todos los puntos de vertimientos asilados, de tal forma que confluyan a un punto específico donde se proyectará el sistema de tratamiento general o a puntos estratégicos que recojan las aguas de varios sectores y se implementen sistemas satelitales o descentralizados tal como se explicó en el cuerpo del presente documento.

Estas actividades conllevan a la actualización de los diferentes Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), los cuales dentro de sus actividades proyectan la construcción de obras como interceptores y colectores, así como las proyecciones de sistemas de tratamiento para las aguas residuales domésticas. Por último se debe articular esta actualización de los PSMV con los Planes Departamentales de Agua (PDA), por lo cual se establecerían rutas metódicas para llevar a cabo las actividades que se planeen en estos documentos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como observaciones generales sobre el resultado obtenido en el estudio de los municipios de la cuenca alta del Río Gualí, en el norte del Tolima, se presentan las siguientes recomendaciones y conclusiones:

- Para los municipios en estudio se puede concluir que ninguno trata las aguas residuales domésticas generadas, debido a que ninguno cuenta con sistemas de tratamiento de este tipo. Excepción de lo anterior el municipio de Casabianca cuenta con un sistema de tratamiento el cual no ha sido operado conforme a que no se encuentra terminado en su totalidad. Esto muestra que ninguno de las poblaciones estudiadas cumpliría con los requerimientos establecidos por la normatividad ambiental vigente, específicamente los límites máximos permisibles descritos en la Resolución 631 de 2015, conforme al vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo.
- Si bien la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA, proyectó objetivos de calidad para varias fuentes hídricas en el departamento en el año 2006, no todas las corrientes receptoras cuentan con estos objetivos, lo que permitió plantear el cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 como norma de vertimientos, y proyectar para un caso específico el sistema de tratamiento de cumple con los límites exigidos por dicha norma. Además de lo anterior la dilución y recuperación que presentan los cuerpos de agua que reciben los vertimientos de cada municipio, antes de verter sus aguas sobre la corriente principal (Río Gualí) podría cumplir con los objetivos de calidad que se estiman en el tramo correspondiente al municipio, lo que dejaría sin sustento la necesidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas en las cabeceras municipales, conllevando a una mayor degradación de las corrientes receptoras y calidad de vida de la población que habita cerca de estas.
- Para todos los municipios en estudio, según la comparación realizada con entre las cargas vertidas por estos y las calculadas según los límites máximos permisibles descritos en la resolución 631 de 2015, se puede concluir que todos superan lo establecido por la norma, lo que pone de manifiesto la necesidad de tratamiento que garantice valores finales de vertimiento acorde a dichos valores.
- El sistema de tratamiento propuesto como alternativa para el saneamiento del punto específico denominado Barrio Caldas en el Municipio de Fresno, se diseñó acorde al cumplimiento de los límites máximos permisibles descritos en la resolución 631 de 2015, lo que disminuye ostensiblemente el impacto generado por el vertimiento de estas sobre la fuente receptora denominada Rio Sucio, la cual tributa sobre otra fuente que surte de agua el municipio vecino de San Sebastián de Mariquita.

- Se concluye que si bien la resolución 631 de 2015 presenta límites máximos permisibles para vertimientos en varios sectores (domésticos y no domésticos), contiene vacíos técnicos en cuanto a que no definen tiempos de sequía o estiaje y épocas de lluvia, lo cual cambia ostensiblemente las condiciones de los cuerpos receptores. Esto pone de manifiesto la necesidad de una modelación y simulación de las corrientes que son receptoras de vertimientos a lo largo del departamento, lo cual permitiría evidenciar los impactos que sufren cada uno de estos cuerpos hídricos en condiciones extremas y de normalidad si se tiene en cuenta el aumento o disminución del caudal.
- Conforme a lo argumentado en el trabajo desarrollado por Macca Millan (Gloria Stefany Maca Millan, 2014), en cuanto a la eliminación de vertimientos, se concluye que es más ventajoso para este tipo de municipios, el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante sistemas descentralizados, lo que incluye la baja inversión en cuanto a transporte de aguas (grandes distancias de tubería para colectores e interceptores), además de la posibilidad de adecuación respecto a aumento de población o estancamiento de la misma, control de afectaciones con vecinos y manejo de residuos.
- Según el análisis de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de los municipios en estudio, solamente Herveo, Falan y Fresno cuentan con PSMV aprobados por CORTOLIMA, sin que Casabianca y Palocabildo tengan dicho plan con el visto bueno por parte de la Corporación Autónoma Regional el Tolima. Sumado a lo anterior se puede concluir que en los tres municipios que cuentan con PSMV, y específicamente lo relacionado con las obras que se proyectan para largo plazo, el cual comprende entre los años 2009 y 2019, no se han llevado a cabo entre las que sobresale la construcción de las plantas de tratamiento para las aguas residuales domésticas, aunado a la optimización de alcantarillados y construcción de colectores e interceptores.
- Los valores obtenidos según el cálculo del índice de calidad de agua, el cual estima la calidad fisicoquímica del recurso, para las estaciones de monitoreo establecidas a lo largo de la cuenca del Río Gualí, reportadas por el POMCA GUALI y las calculadas según la metodología del IDEAM, arroja en su gran mayoría calidad regular o aceptable. Solamente se indica una estación con calidad buena según el cálculo de las dos metodologías, lo que muestra la necesidad de un programa de saneamiento básico y control de vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratar.
- Con el objetivo de garantizar un tiempo mayor de mantenimiento de los sistemas de tratamiento, así como evitar la obstrucción y taponamiento de los ductos que transportan el agua hacia estos, es necesario la implementación

de unidades de cribado y desbaste, así como desarenadores y trampas de grasas, antes de la entrada de cada sistema de tratamiento que se implemente.

- Conforme a que se tiene variación de caudales durante un día normal de operación, se recomienda implementar tanques de igualación con el fin garantizar un flujo de caudal constante en la entrada del sistema de tratamiento. Igualmente estos tanques deben implementarse de tal forma que trabajen por gravedad, minimizando costos de operación.
- Los sistemas de tratamiento, deben estar provistos de unidades de aforo, tanto a la entrada como a la salida, con el fin de realizar aforos de caudal y toma de muestras en estos dos puntos que conlleven a la realización de caracterizaciones exigidas por la normatividad ambiental vigente.
- Los sistemas de tratamiento descentralizados (satélites) o por sectores, presentan grandes ventajas frente a los sistemas más grandes o aquellos que tratan la mayor parte de las aguas residuales generadas en los municipios. Lo anterior se fundamenta en que las tecnologías son más simples en cuanto a su operación, y pueden ser acoplados a crecimientos demográficos, además de costos menores acorde a la longitud y diámetro de tuberías y tamaño de las unidades que conforman el sistema.
- Teniendo en cuenta las ventajas de sistemas descentralizados o satélites, se plantea el diseño de un sistema de tratamiento conformado por Tanque Séptico, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente y Humedal Artificial. Este sistema además de ser de fácil operación, se encontró como el de menor costo operativo y de mantenimiento que los otros tipos de sistemas observados. Estos sistemas de tratamiento fueron escogidos según el criterio de caudal máximo, tomando como tope el valor expuesto por el libro Tratamiento de Aguas Residuales (Jairo Alberto Romero Rojas, 2004) de 380 m³/d, específicamente en el diseño del tanque séptico. Se recomienda que en el caso tal que supere este valor, el caudal promedio de vertimiento, se escoja otro tipo de sistema de tratamiento acorde a la cantidad de agua a tratar.
- Se recomienda realizar inicialmente el manejo de los lodos provenientes del mantenimiento del sistema de tratamiento, mediante extracción por camiones cisterna con succión o Vactor, con el fin de minimizar costos en cuanto a la construcción de lechos de secado de lodos, conforme a que en la mayoría de sitios donde se ubican los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, están alejados de la población y por tal motivo en la mayoría de veces no se cuenta con personal de vigilancia en estas instalaciones, no se plantea la construcción de un lecho de secado de lodos cubierto, el cual puede ser objeto de hurto de la estructura de cubierta, lo cual desmejoraría ampliamente la calidad del lodo que se espera extraer, y no garantizaría la

deshidratación del mismo. No obstante se determinaría en etapas futuras del proyecto el tratamiento de estos por medio de lechos de secado, proyectando el uso de lodos como mejorador de suelos, dando un valor agregado a este subproducto de tratamiento. El manejo integral de los lodos deberá realizarse acorde a lo establecidos en el decreto N° 1287 del 10 de julio de 2014 proferido por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Esta actividad de comercialización deberá estar enmarcada en un análisis económico en cuanto al posible uso y venta como mejorador de tierra comparado con los costos asociados a la estructura, mantenimiento y bombeo de lixiviados hacia el inicio del sistema.

- Teniendo en cuenta que las aguas residuales tratadas son vertidas en la gran mayoría de los municipios en estudio, sobre fuentes superficiales de agua, se debe realizar un análisis de posibilidades de riego como fertilizante de cultivos, de tal forma que se aproveche el caudal tratado y su contenido de materia orgánica como mejorador de suelo. Esto deberá ser ajustado conforme al tipo de terreno y planes de riego adecuados a las pendientes naturales propias del área donde se ubique el sistema de tratamiento, teniendo en cuenta que son municipios de alta montaña y algunos son propensos a deslizamientos.
- Los costos asociados a la construcción de los sistemas de tratamiento, son aproximados ya que no se conoce de primera mano el costo por hectárea del terreno donde se ubicarían dichos sistemas, así como el uso actual, lo que puede variar ostensiblemente el precio de compra del mismo. Así mismo los costos de materiales, mano de obra, maquinaria y servicios profesionales, varían de acuerdo a cada uno de los municipios estudiados.
- Es recomendable que en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento que se diseñen en cada uno de los municipios, se establezca la metodología de Llave en Mano, lo cual la empresa consultora será la responsable de todas las etapas anteriormente mencionadas, garantizando así la efectividad del tratamiento y evitando el abandono de los sistemas de tratamiento que en su mayoría no son operados debido a que quienes los construyen son personas diferentes de quienes realizan los diseños.
- Se recomienda que conjuntamente con la gestión del recurso hídrico enfocado al saneamiento de vertimientos y tratamiento de aguas residuales generadas en los municipios, se realicen campañas educativas que estén encaminadas al uso adecuado del recurso hídrico y la disminución de la cantidad de vertimientos, así como el desarrollo de planes de ahorro y uso eficiente del agua, involucrando instituciones educativas, sector público y privado, y agremiaciones existentes tanto en el sector urbano como en el rural. A esto deberá sumarse campañas de amor por el recurso en el que se haga hincapié sobre la importancia de cuidar la totalidad de las fuentes hídricas y

la disminución de contaminación por residuos sólidos y otro tipo de contaminantes vertidos a estas corrientes. Así mismo deberán llevarse a cabo un trabajo social con las comunidades que están aledañas a cada uno de los sistemas a implementar, de tal forma que se cree un arraigo sobre el cuidado del mismo y se trabaje conjuntamente con la administración local, para el caso de humedales subsuperficiales, en el mantenimiento, recolección y comercialización de las especies que puedan ser plantadas.

- Según los resultados que se presentan en el POMCA GUALÍ, adoptado por CORTOLIMA en el año 2014, se recomienda iniciar los respectivos planes de manejo de las cuencas que se encontraron en riesgo Muy Alto, según el índice de uso del agua (IUA), para las cuencas de las fuentes hídricas denominadas Quebrada Padilla (surte agua municipio de Honda) y Quebrada Guarumo (Surte de agua el municipio de Fresno). Estas dos fuentes hídricas fueron comunes en presentar un índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) Alto, lo que reitera una vez más la necesidad del desarrollo de los planes de manejo especial para estas cuencas.
- Conforme a las visitas realizadas a los municipios en estudio, y la precaria información actualizada que se tiene sobre las redes de alcantarillado, cantidad de habitantes que vierten en cada sector, diámetros y material de las tuberías, caudal promedio por punto de vertimiento, red de acueducto y número de usuarios del mismo, se recomienda a las administraciones locales, llevar a cabo la actualización del catastro de redes de cada una de las cabeceras municipales, aunado a la actualización de los PSMV sobre los componentes anteriormente citados.
- Se hace necesario que cada municipio realice la actualización de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), y en los casos en que no se tienen aprobados por CORTOLIMA dicho documento técnico, que para este estudio son los municipios de Casabianca y Palocabildo, deberán presentarse ante la autoridad ambiental con el fin que se inicie su respectiva evaluación. Esta actualización debe estar articulada con los planes departamentales de agua, y las obras que se desarrollan en cuanto a eliminación de puntos aislados de vertimientos y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, proyectados al cumplimiento de la normatividad ambiental nacional y regional, que para este último caso podrá referirse al cumplimiento de los objetivos de calidad que se establezcan por parte de la autoridad competente.
- Considerando que todos los municipios estudiados presentan alcantarillados combinados, se deben implementar unidades de alivio de caudal y desborde, de tal forma que garantice la evacuación del exceso de agua lluvia, evitando así la entrada de un caudal mayor y diluido a los sistemas de tratamiento que se implementen. Sumado a esto la optimización en cuanto a la eliminación de

conexiones erradas y para nuevos proyectos la separación de aguas lluvias, lo cual propenda por evitar la entrada de mayor cantidad de agua no residual al sistema de alcantarillado.

6 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDIA DE PALOCABILDO. (Febrero de 2005). ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. *Acuerdo N° 001 del 28 de febrero de 2005*. PALOCABILDO, TOLIMA, COLOMBIA: Alcaldía de Palocabildo.
- ALCALDIA MUNICIPAL DE HERVEO. (DICIEMBRE de 2005). DOCUMENTO RESUMEN - ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. HERVEO, TOLIMA: ALCALDIA MUNICIPAL DE HERVEO.
- ALCALDIA DE CASABIANCA. (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial. Casabianca, TOLIMA, COLOMBIA: Alcaldía de Casabianca.
- ALCALDIA DE CASABIANCA. (2008). Plan de Desarrollo - Bases Para un Desarrollo Sostenible. CASABIANCA, TOLIMA, COLOMBIA: Alcaldía de Casabianca.
- BIOTEC. (Noviembre de 1999). Avances Conceptuales Para el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas (ARD) en el Trópico y Estudio de Casos. Cali, Valle del Cauca, Colombia: BIOTEC.
- Carlos Arturo de Lemos Chernicharo. (2007). *Biological Wastewater Treatment Series – Anaerobic Reactors*. Londres : IWA Publishing.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (14 de Enero de 2015). Resolución 0052 de 2015. *Resolución 0052 de 2015*. Neiva, Huila, Colombia: CAM.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA -CORTOLIMA. (2016). *LINEA BASE METAS DE DESCONTAMINACIÓN MUNICIPIOS DEL TOLIMA (EN PROCESO DE OFICIALIZACIÓN)*. TOLIMA. IBAGUÉ: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2006). Resolución 601 del 2006. *Mediante la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Coello, Luisa, Venadillo, Sumapaz y Gualí en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima "CORTOLIMA"*. IBAGUÉ, TOLIMA, COLOMBIA: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (Octubre de 2009). Agenda Ambiental Municipio de Palocabildo. *Agenda Ambiental del Municipio de Palocabildo*. Ibagué, Tolima, Colombia: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2009a). POMCA RIO LAGUNILLA. IBAGUE: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2009b). POMCA RÍO RECIO. IBAGUE: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2010a). ACUERDO 001. IBAGUÉ: CORTOLIMA Y MAVDT.

- CORTOLIMA. (2010b). Acuerdo 001. IBAGUÉ: CORTOLIMA Y MAVDT.
- CORTOLIMA. (2011). Agenda Ambiental Municipio de Falan. *AGENDA AMBIENTAL MUNICIPIO DE FALAN*. FALAN, TOLIMA, COLOMBIA: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2011). Agenda Ambiental Municipio de Fresno Tolima. IBAGUÉ, TOLIMA, COLOMBIA: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2012). *PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL DEL TOLIMA 2013-2023*. IBAGUE: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2014). Acuerdo 017 del 12 de Diciembre de 2014. FRESNO: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (2014B). POMCA RÍO GUALÍ. IBAGUE: CORTOLIMA.
- CORTOLIMA. (s.f.). *Corporación Autónoma Regional del Tolima*. Obtenido de www.cortolima.gov.co
- DANE. (03 de junio de 2016). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>
- Environmental Protection Agency -EPA. (Septiembre de 2000). Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales – Humedales de Flujo Subsuperficial. *Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales – Humedales de Flujo Subsuperficial*. Washington D.C, United States: EPA.
- Gloria Stefany Maca Millan. (2014). Evaluación Económica de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Guadalajara de Buga. *Evaluación Económica de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Guadalajara de Buga*. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia: Universidad del Valle.
- Gómez, Juan David Villegas, et al. (2006). Septic Tank (ST)- Up Flow Anaerobic Filter (UFAF) –Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) system aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 269-281.
- IDEAM. (2010). Sistemas Morfogénicos del territorio colombiano. BOGOTA D.C, COLOMBIA: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de

Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad.
BOGOTÁ: IDEAM.

Instituto de Ingeniería UNAM. (2013). SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES- GUIA DE APOYO PARA CIUDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS. *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES- GUIA DE APOYO PARA CIUDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS*. MÉXICO D.F, MÉXICO: Instituto de Ingeniería - Universidad Nacional Autónoma de México.

Jairo Alberto Romero Rojas. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Metcalf & Eddy. (1991). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Mc Graw - Hill.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto 1640. Bogotá: MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto 2667 del 21 de Diciembre de 2012. BOGOTA: MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guia Técnica Para La Formulación de Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA). Bogotá: MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. BOGOTÁ: MINAMBIENTE.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015 -Por el cual se establecen los parametros y los valores limites maximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado publico y se dictan otras disposiciones. Bogotá: MADS.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural. (2003). Decreto 3100 del 30 de octubre de 2003. Se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales. BOGOTA: MAVDR.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (27 de Noviembre de 2009). Resolución 2320. *Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS–*. Bogotá, Colombia: M.A.V.D.T.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
(2013). Resolución 1433. Bogotá: MAVDT.

Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial. (2004). Resolución 1433 DE 2004. Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones. Bogotá: MAVDT.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. (2000). Reglamento Técnico Para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000. BOGOTÁ: MDE.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (Octubre de 2003). Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua. *Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua*. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

Oganización Panamericana de la Salud. (2005). Guia Para la Operación y Mantenimiento de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. *Guia Para la Operación y Mantenimiento de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Lima, Peru.

Pérez, A., TORRES, P. P., & Pizarro. (2006). Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Influencia del inóculo. *Ingeniería y Competitividad*, 47-54.

Quintero, D.S. Zapata. M.A, & Guerrero. J. (Diciembre de 2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia et Technica*, 591-596.

Revista EIA. (2012). Patricia Torres. *Revista EIA - Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 115 - 129.

Superintendencia de Servicios Públicos Doliciliarios. (2013). *Informe Técnico Sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. Bogotá : Imprenta Nacional de Colombia.

Universidad del Valle- Instituto CINARA. (s.f.). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes. *Conferencia Internacional: De la accion local a las metas globales*.

US Enviromental Protection Agency - EPA . (s.f.). Guía Para el Diseño y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales . *Guía Para el Diseño y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales* .

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1. Valores Parámetros Físicoquímicos – Cuenca Gualí (POMCA GUALÍ) – MEDIO DIGITAL

7.2 ANEXO 2. Resultados Caracterizaciones Físicoquímicas Vertimientos Municipios en Estudio. Laboratorio CORCUENCAS.

7.3 ANEXO 3. Boletines DANE Municipio de Estudio.

7.4 ANEXO 4. Esquema del sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas.